

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

LIBEREC 2013

ADÉLA JANDÍKOVÁ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: B3107 Textil

Studijní obor: 3107R007 Textilní marketing

**TERMOFYZIOLOGICKÝ KOMFORT
CIVILNÍCH ODĚVŮ PRO HORKÉ A SUCHÉ
KLIMA**

**THERMOPHYSIOLOGICAL COMFORT OF
CASUAL CLOTHES FOR THE HOT AND DRY
CLIMATE**

Adéla Jandíková

KHT-928

Vedoucí bakalářské práce: Prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.

Rozsah práce:

Počet stran textu ...56

Počet obrázků11

Počet tabulek5

Počet grafů.....9

Počet stran příloh..2

Zadání bakalářské práce

(vložit originál)

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Především bych chtěla poděkovat svým rodičům, kteří mi dali možnost studovat na vysoké škole a za jejich podporu při studiu. Má bakalářská práce vznikla pod dohledem pana Prof. Ing. Luboše Hese, DrSc., kterému děkuji cenné informace a rady poskytnuté pro vznik této bakalářské práce.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá termofyziologickým komfortem civilních oděvů pro horké a suché klima. Cílem této práce je prozkoumat styl odívání obyvatel žijících v extrémních podmínkách horka a sucha a stanovit jejich obecné požadavky pro dosažení komfortu. Práce se dále zabývá vlivem výběru barev při odívání v těchto extrémních klimatických podmínkách.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Komfort, přenos tepla, sluneční záření, komínový efekt, oděv, konvekční simulátor

ANNOTATION

This Thesis deals with the thermophysiological comfort of civil clothes for the hot and dry climate. The goal was to study a traditional clothing of people who live in this extreme climate which determine their general requirements for the thermophysiological comfort. In this Thesis also the effect of color of the clothing system is explained.

KEY WORDS:

Comfort, heat transfer, solar energy, solar chimney, clothes, heated torso

Obsah

ÚVOD	9
1. TEORETICKÁ ČÁST.....	10
1.1 Lidská kůže.....	10
1.1.1 Funkce kůže.....	10
1.2 Termoregulace lidského těla.....	11
1.2.1 Termoregulační systém lidského těla	11
1.3 Soustava organismus – oděv - prostředí	13
1.3.1 Oděv	13
1.3.2 Prostředí	14
1.4 Komfort textilií.....	16
1.4.1 Psychologický komfort	16
1.4.2 Patofyziologický komfort.....	17
1.4.3 Senzorický komfort	17
1.4.4 Termofyziologický komfort	19
1.5 Odvod kapalně vlhkosti z povrchu lidského těla.....	21
1.5.1 Difúze	21
1.5.2 Kapilární odvod vlhkosti	22
1.5.3 Sorpce.....	22
1.6 Sluneční záření	22
1.7 Tradiční oděvy obyvatel Severní Afriky	24
1.7.1 Klima severní Afriky.....	24
1.7.2 Obyvatelé pouštních oblastí	25
1.8 Analýza problému.....	27
1.8.1 Analýza přenosu tepla	27
1.8.2 Analýza přenosu hmoty.....	30
1.9 Proč se obyvatelé některých kmenů Severní Afriky odívají do tmavých barev.....	31
1.10 Komínový efekt	33
2. PRAKTICKÁ ČÁST.....	34
2.1 Pomůcky použité při experimentu:.....	34

2.1.1	Popis konvekčního simulátoru a stanovení referenční hodnoty tepelného toku při dosažení postačujícího tepelného komfortu	34
2.1.2	Popis halogenové žárovky	36
2.1.3	Popis Almeno 2290-4S	37
2.1.4	Popis termočlánku	37
2.1.5	Popis pyrometru	37
2.1.6	Popis textilních vzorků a jejich parametry	38
2.2	Měření na Permetestu	39
2.3	Měření na přístroji Alambeta	39
2.4	Měření na přístroji FX 3300	40
2.5	Princip měření	41
2.5.1	Měření s bílým a černým papírem	42
2.5.2	Měření s textilními vzorky	43
2.5.3	Měření s textilními vzorky se simulací pocení	44
2.5.4	Měření se čtyřmi různými textilními vzorky za simulace pocení	45
2.5.5	Měření se čtyřmi různými textilními vzorky za simulace pocení	46
2.5.6	Měření se čtyřmi různými textilními vzorky za sucha i za simulace pocení	47
2.5.7	Teplotní rozdíly povrchu u měřených vzorků	50
ZÁVĚR		51
Přehled použitých symbolů		52
Seznam použitých obrázků		54
Seznam použité literatury		55
Seznam příloh		56

ÚVOD

Většina z nás může být přesvědčena o tom, že nosit bílé oblečení v horkých letních dnech je to nejlepší řešení. Tento fakt máme v podvědomí od doby, kdy se bílá barva všeobecně předpokládala za příznivější při vnímání tepla.

Bakalářské práce se zabývá termofyziologickým komfortem oděvů nošených v horkém a suchém klimatu. Práce je zaměřena právě na styl odívání obyvatel žijících v pouštních oblastech a na stanovení obecných požadavků pro dosažení komfortu u těchto oděvů. Dále by měla poskytovat vysvětlení, proč někteří z obyvatel žijících v těchto extrémních klimatických podmínkách dávají přednost černému oděvu před bílým.

Cílem práce je zjistit, jaké jsou rozdíly mezi tmavým a světlým oděvem při daných klimatických podmínkách horka a sucha a na základě laboratorního měření a podle možnosti navrhnout zlepšení oděvu.

Bakalářská práce je jednou z odpovědí proč by nám měli černé oděvy přinášet větší tepelný komfort a za jakých podmínek. Odpověď bude podložena teorií dané problematiky s praktickou částí naměřených výsledků laboratorního experimentu.

TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Lidská kůže

Lidská kůže je největším orgánem pokrývajícím lidské tělo a oddělujícím vnitřní prostředí organismu od vnějšího prostředí.

Lidská kůže se skládá z několika částí. První je pokožka tvořená mnoha vrstvami buněk, která je bezcévná. Ve spodní části pokožky je obsaženo pigmentové barvivo melanin, který chrání kůži před škodlivými účinky UV záření. Přítomnost melaninu v kůži má také vliv na barvu pleti.

Druhou částí lidské kůže je škára. Tato část kůže je tvořena vazivem obsahujícím kolagenová a elastická vlákna. S vzrůstajícím věkem dochází k úbytku těchto vláken, to má za důsledek snížení pružnosti kůže a tvorbu vrásek. V této části se nachází mnoho krevních vlásečnic pro výživu pokožky a nervová zakončení, jako jsou čidla doteku, tlaku, tepla a chladu.

Podkoží tvoří izolační vrstvu chránící proti teplotním vlivům a mechanickému poškození. Podkožní tkáň je nejhrubší vrstvou kůže a je tvořena tukovou vrstvou a vazivem. Tato vrstva slouží jako zásobárna energie pro náš organismus.

1.1.1 Funkce kůže

- Ochranná funkce – odděluje vnitřní prostředí našeho organismu od vnějšího prostředí, chrání tělo.
- Smyslová funkce – v kůži je nervové zakončení, které reaguje na teplo, chlad, tlak nebo poranění.
- Termoregulace – potní žlázy a kožní cévy nacházející se v kůži, napomáhají udržovat stálou teplotu těla.

- Skladovací funkce – v podkožním vazivu se skladuje tuk. Ten má kromě funkce zásobní i funkci mechanickou a izolační. Jsou zde uskladněny i vitamíny rozpustné v tucích.
- Vylučovací funkce – kůže slouží k vylučování chemických látek z těla. Tento proces je zajišťován mazovými a potními žlázami. Vylučování potu je zároveň velmi důležité pro termoregulaci organismu.
- Resorpční funkce – do kůže pronikají látky rozpustné v tucích a dýchací plyny. (například vtíráním mastí)
- Estetická funkce a komunikace – vzhled kůže je jedním z prvních faktorů, kterých si při vzájemném kontaktu všímáme. Například červenání se, kdy je jedinec v určité situaci, kterou můžeme odhadnout. [6]

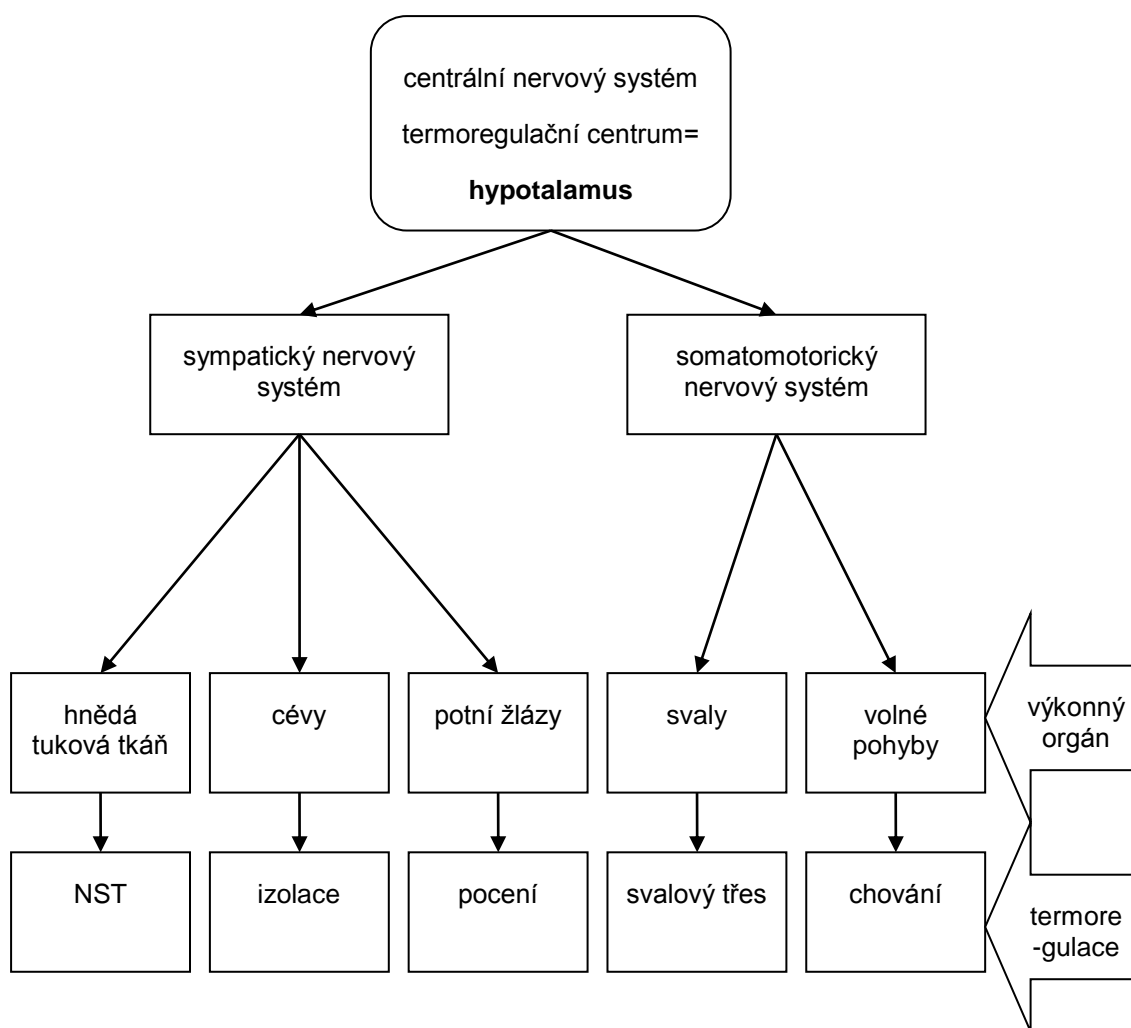
1.2 Termoregulace lidského těla

Lidské tělo pracuje jako tepelný stroj s regulací. Termoregulační systém lidského těla má za úkol především udržovat vnitřní teplotu lidského těla. Optimální teplota v lidském jádru se pohybuje okolo 37°C, což zajišťuje harmonický chod organismu při vykonávání životních funkcí. Pro celý organismus platí, že jeho vnitřní teplota je konstantní, pokud je množství tepla vyprodukované tělem rovno teple odevzdanému do okolního prostředí. [1]

1.2.1 Termoregulační systém lidského těla

Udržení tělesné teploty v podmínkách okolního prostředí je životně důležitou funkcí organismu pro naši existenci. Můžeme říci, že naše tělesná teplota je výsledkem mezi příjmem, produkcí a výdejem tepla. A právě rovnováhu mezi těmito procesy zajišťuje termoregulace. [1]

Regulační centrum pro termoregulaci v lidském těle je hypotalamus. Tento orgán řídí procesy kontroly nad produkcí a výdejem tepla našeho organismu.



Obr. č. 1 Termoregulace lidského těla

Na různých částech těla můžeme naměřit odlišnou teplotu. Teplota na určitých místech těla kolísá v závislosti na fyziologickém stavu těla a na okolním prostředí. Nejvyšší teplota těla je teplota jádra (vnitřní teplota organismu), která činí cca 37°C. Tato teplota je u zdravého člověka udržována za všech okolností, i kdyby teplota pokožky podstatně klesla. Nejvyšší teplotu pokožky naměříme tam, kde je nejvíce prokrvená. Jedná se tedy o hlavu, břicho a prsa, kde je teplota pokožky 34 – 36°C. Na okrajových částech těla, jako jsou ruce a nohy, naměříme teplotu pokožky okolo 29 – 31°C. Nejchladnějšími místy na těle potom jsou špička nosu, ušní lalůčky a špičky prstů, kde se teplota pohybuje okolo 23 – 28°C. V noci tělesná teplota klesá.

Jestliže je náš organismus v takových podmínkách, kdy není třeba regulovat teplotu lidského těla, nedochází k termoregulaci. Je-li náš organismus optimálně prokrven, nedochází k pocení a ani k pocitu chladu. Stav fyziologického, psychologického a fyzikálního komfortu mezi člověkem a okolím, je stavem, ve kterém člověk vydrží pracovat neomezeně dlouho. Jinými slovy můžeme tento stav vyjádřit jako stav tepelné pohody nebo-li termofyziologický komfort, kdy nám není ani teplo ani zima. [1]

Termofyziologický komfort nastává za optimálních podmínek, kdy:

- teplota pokožky $33 - 35^{\circ}\text{C}$,
- relativní vlhkost vzduchu je $50 \pm 10\%$,
- rychlost proudění vzduchu je $25 \pm 10 \text{ cm.s}^{-1}$,
- obsah CO_2 je $0,07\%$,
- není přítomnost vody na pokožce. [1]

Tyto podmínky je dobré si uvědomit při navrhování a konstrukci oděvů tak, aby při nošení těchto oděvů byl zajištěn co možná nejvyšší stupeň komfortu při odívání. Důležité je také si uvědomit pro jakou skupinu lidí konstruuujeme oděvy a v jakém klimatickém podnebí žijí.

Je tedy užitečné smýšlet v soustavě organismus – oděv – prostředí.

1.3 Soustava organismus – oděv - prostředí

V předešlé kapitole byl popsán organismus lidského těla a jeho termoregulace. V této na oděv a prostředí. I tyto dva faktory velmi ovlivňují náš komfort při odívání.

1.3.1 Oděv

Oděv je nedílnou součástí našeho života a plní hned několik funkcí. Základní funkcí ale je chránit tělo před vnějším nestálým okolím.

Oděv je vzájemné interakci s okolím, kde existují čtyři základní typy procesů.

- Fyzikální procesy mezi oděvem a okolím, jako je prostup tepla a vlhkosti a mechanické namáhání oděvu při nošení.
- Neurofyzilogické procesy, jsou to procesy spojené se senzorickým komfortem během nošení oděvu.
- Termofyzilogické procesy těla, tj. tepelná rovnováha a komfort těla, jeho termoregulační reakce během nošení oděvu v nestálém okolí.
- Psychologické procesy, jedná se o subjektivní vnímání komfortu při odívání.

Prostup tepla a vlhkosti v oděvním systému závisí především na konstrukci, střihu, použitém materiálu a dalších parametřů oděvu. Oděv napomáhá udržovat stálou teplotu organismu v takovém případě, kdy tělo není samo schopno o samoregulaci.

Oděvní systém se skládá z několika vrstev. Mezi každou oděvní mezivrstvou je vrstva vzduchu, která je z vrstvy volného vzduchu a vzduchu uzavřeného textilií.

Tyto tři vrstvy jsou chápány jako celek, jednu vrstvu, a to z důvodu, že se všechny účastní prostupu tepla, vlhkosti a vzduchu. Fyzikální vlastnosti jedné vrstvy ovlivňují stav a vlastnosti vrstvy druhé a opačně. [1]

1.3.2 Prostředí

Vnější prostředí jsou podmínky, ve kterých se náš organismus pohybuje. Okolní podmínky mají také zásadní vliv na komfort odívání. Prostředí můžeme rozdělit na dvě oblasti:

- podmínky pracovního prostředí,
- zeměpisné podnebí, které má rozhodující vliv na výběr oděvu a jeho parametry, jedná-li se o podmínky vnějšího prostředí. [1]

Obě oblasti na sobě můžou, ale nemusí být závislé. Je ale nezbytné si uvědomit obě oblasti v rámci navrhování oděvů.

Klimatické oblasti lze rozdělit do čtyř základních oblastí:

- studená oblast
- střední oblast
- horká suchá oblast
- horká vlhká oblast [1]

Tato práce je zaměřena na odívání pro horké a suché klima, proto bude následovně popsána oblast horka a sucha.

Horká a suchá oblast

Charakteristické pro tuto oblast je vysoká teplota a nízká vlhkost vzduchu. Přes den mohou teploty vyšplhat až na 43°C ve stínu, ovšem přes noc mohou naopak klesnout až k -10°C. Typické pro tuto oblast je i nedostatečná vegetace. Jedná se o pouště a polopouště vyskytující se především v oblastech kolem obratníků.

Tyto vysoké teploty způsobují, že se tělo intenzivně potí. Proto je důležité zajistit odvod potu od pokožky a využít chladícího účinku vznikajícího odpařováním potu z povrchu textílie. [1]

1.4 Komfort textilií

Textilní komfort můžeme definovat jako stav pohodlí člověka při odívání, kdy nám není ani teplo ani zima. Tedy je to stav, kdy jsou fyziologické funkce našeho organismu v rovnováze. Komfort je vnímám lidskými smysly a to především hmatem, zrakem, sluchem a čichem.

Dělení komfortu

Podle toho, jak člověk vnímá komfort textilií, můžeme komfort rozdělit do 4 kategorií.

- psychologický
- senzorický
- termofyziologický
- patofyziologický

Každý člověk se chce cítit dobře, tedy pohodlně a stále zvyšuje své požadavky na oděvní komfort. V naší společnosti jsou ovšem určité skupiny lidí, které mají nárok na vyšší míru komfortu než ostatní. Hovoříme zde o velmi malých dětech, nemocných lidech a těch, kteří dosáhli vysokého věku. Dále sem patří skupina lidí, kteří při výkonu své práce musejí používat ochranné oděvy (lékaři, záchranáři, pracovníci s chemikáliemi nebo ti pracovníci, kteří jsou vystaveni extrémním teplotním podmínkám). [1]

1.4.1 Psychologický komfort

Psychologický komfort je vnímán všemi lidskými smysly, tedy kromě chuti, a to hmatem, zrakem, sluchem či čichem.

Psychologický komfort lze vnímat z více hledisek, jako jsou například klimatická, ekonomická, historická, kulturní, sociální či individuální.

Tedy můžeme říci, že každý lidský jedinec vnímá tento komfort subjektivně, podle toho, v jakých klimatických podmínkách žije či v jaké sociální nebo kulturní společnosti existuje. [1]

1.4.2 Patofyziologický komfort

Patofyziologickým komfortem se rozumí, že lidská pokožka odolává působení patofyziologicko-toxickým vlivům. Jedná se o chemické složení materiálu, ze kterého je daný oděv vyroben a mikroorganismů vyskytujících se na lidské pokožce.

Jestliže odolnost člověka, tedy lidské pokožky, není dostatečně imunní proti působení oděvu na pokožku, může dojít k vyvolání dermatózy (kožní onemocnění).

Dermatóza může být způsobena drážděním (jedná se o fyzikálně-chemický jev) nebo alergií (imunologický jev, který je důsledkem kontaktu s alergenem). [1]

1.4.3 Senzorický komfort

Senzorický komfort představuje pocity člověka při přímém styku pokožky s textilním materiálem. Tyto pocity mohou být vnímány jako příjemné, pocity měkkosti či hebkosti nebo naopak pocity nepříjemné vyvolané drážděním, škrabáním, kousáním nebo pocitem vlhkosti.

Senzorický komfort lze dělit:

- komfort nošení, kde se klade důraz na povrchovou strukturu textilií a jejich mechanické vlastnosti, schopnost textilií absorbovat a transportovat plynnou či kapalnou vlhkost
- omak, který se provádí prostřednictvím prstů a dlaně, je to velmi subjektivní hodnocení, které je špatně měřitelné

Omak lze charakterizovat vlastnostmi, jako jsou hladkost (součinitel povrchového tření), tuhost (smyková či ohybová), objemnost (stlačitelnost), tepelně-kontaktním vjemem.

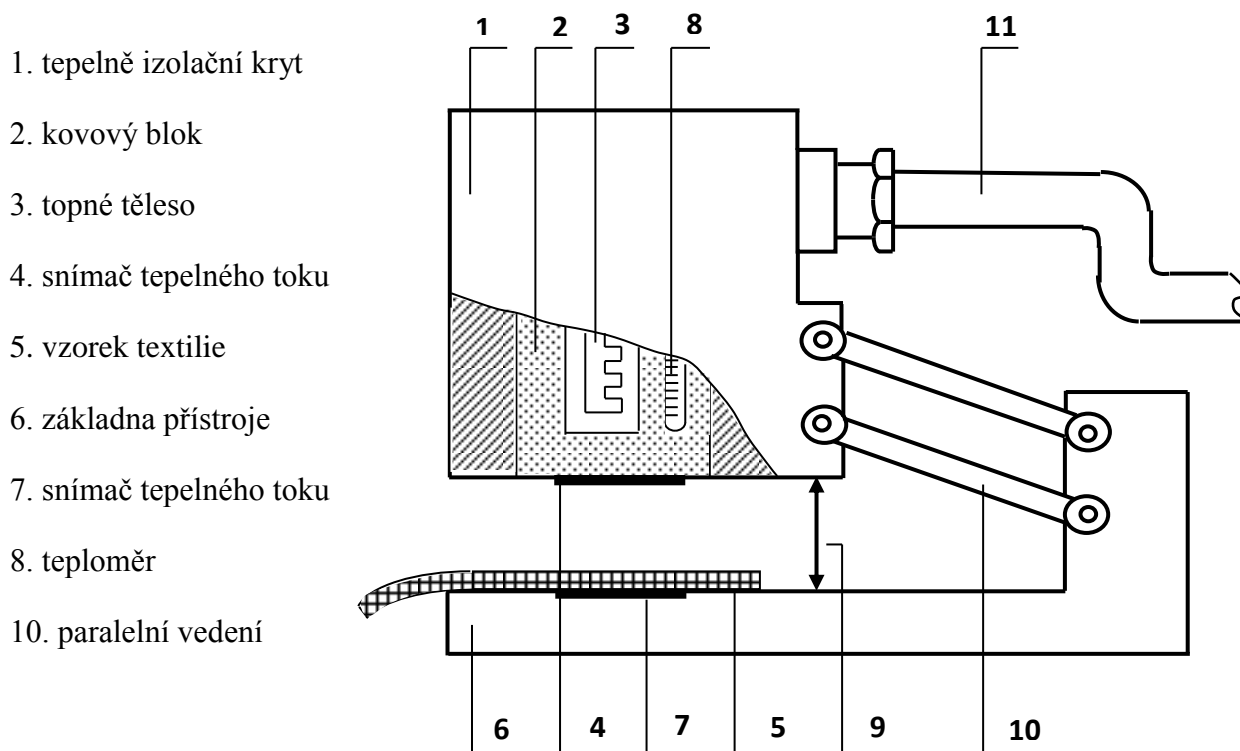
Tepelný omak můžeme popsat jako pocit, který vnímáme při styku pokožky s textilií například při oblékání spodního prádla, ponožek či rukavic. [1]

1.4.3.1 Alambeta

Přístroj Alambeta, který je vyvinutý profesorem Hesem a docentem Doležalem, je určen k měření termofyzikálních parametrů jako jsou tepelný odpor, tepelná vodivost, tepelná jímavost a tepelný tok [2]. Alambeta je poloautomatický přístroj, který je řízený počítačem a schopen vyhodnocovat statistické údaje naměřené přístrojem. Přístroj je opatřen autodiagnostickým programem zabraňujícím chybným operacím. Celé měření na tomto přístroji netrvá déle jak 5 minut. U přístroje Alambeta je využito impulsní okrajové podmínky 1. druhu – dané konstantní teplotou kontaktní měřicí plochy 35°C odpovídající konstantní teplotě lidské pokožky, která si i po kontaktu s textilií díky průtoku krve tuto teplotu zachová.

Parametry měřené přístrojem Alambeta

- Tloušťka materiálu h [mm].
- Měrná tepelná vodivost λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$], tento parametr určuje, kolik množství tepla proteče jednotkou délky za jednotku času a vytvoří tak rozdíl teplot. S rostoucí teplotou teplotní vodivost klesá. (Hodnota udávaná přístrojem Alambeta se musí dělit 10^3 .)
- Tepelný odpor r [$\text{W}^{-1}\cdot\text{K}\cdot\text{m}^2$], parametr koresponduje s tepelnou vodivostí, tedy čím nižší je tepelná vodivost, tím vyšší je tepelný odpor. (Hodnota udávaná přístrojem Alambeta se musí dělit 10^3 .)
- Tepelný tok q [W/m^2] – jedná se o množství tepla, které se šíří z ruky (z hlavice přístroje) o určité teplotě t_2 do textilie o počáteční teplotě t_1 za jednotku času.
- Měrná teplotní vodivost a [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$], parametr nám vyjadřuje, jak je látka schopna vyrovnat teplotní změny.
- Tepelná jímavost b [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot\text{K}^{-1}$], parametr vyjadřující tepelný omak a představující množství tepla, které proteče při rozdílu teplot 1 K jednotkou plochy za jednotku času v důsledku akumulace tepla, platí zde: materiály s větší tepelnou jímavostí (větší b) pocítujeme jako chladnější za pomoci hmatu. [1]



Obr. č. 2 Přístroj Alambeta

1.4.4 Termofyziologický komfort

Jedná se o stav lidského organismu, který je v harmonii s okolím, tedy fyziologický psychologický i fyzikální stav je v optimu. Jinými slovy lze tento stav vyjádřit jako stav tepelné pohody.

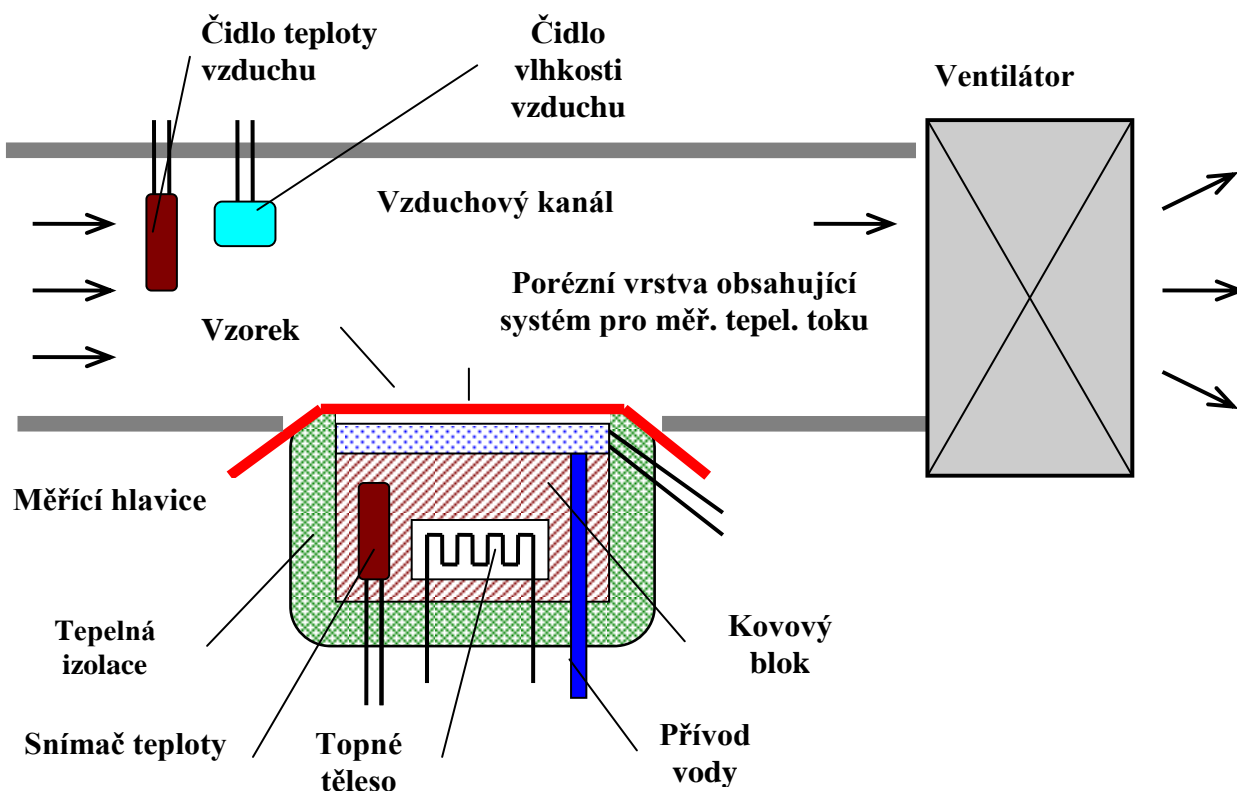
Základními parametry termofyziologického komfortu jsou tepelný a výparný odpor. Výparný odpor, nebo také paropropustnost, má důležitou úlohu při ochlazování těla odpařováním potu z povrchu pokožky. Úroveň ochlazování závisí na rozdílu parciálních tlaků vodních par na povrchu pokožky a v okolním prostředí, dále pak na propustnosti oděvní soustavy pro vodní páry. [1]

1.4.4.1 Permetest

Jedná se o tzv. SKIN MODEL malých rozměrů, který měří tepelný tok q procházející povrchem tohoto modelu lidské pokožky. Přístroj měří výparný odpor R_{et} [$\text{Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}^1$] a propustnost pro vodní páry p [%]. Měření je snadné a časově nenáročné.

Povrch modelu je porézní a zavlhčován, čímž simuluje funkci ochlazování pocením. Na tento povrch je přiložen přes separační fólii textilní vzorek, kde je vnější strana ofukována.

Při měření výparného odporu a paropropustnosti je měřicí hlavice zahřívána na teplotu okolního vzduchu ($20 - 23^\circ\text{C}$). Při měření samotném pak dochází k přeměně vlhkosti v páru, a to v porézní vrstvě. Pára poté prostupuje separační fólií a vzorkem [1].



Obr. č. 3 Přístroj Permetest

1.4.4.2 Přístroj FX 3300

Tento přístroj slouží k hodnocení propustnosti textilií pro vzduch. Princip měření spočívá ve vytvoření tlakového rozdílu mezi oběma povrchy testované textilie (100 Pa) a tak vyvolaného průtoku vzduchu. Propustnost vzduchu se vyjadřuje v m/s. Jedná se o nedestruktivní metodu měření.

Přístroj FX 300 měří prodyšnost nedestruktivní metodou, vzorek se vkládá vcelku.

Prodyšnost je dána vztahem:

$$Pr=Q/A$$

kde Pr [$l/m^2/s$] je prodyšnost, Q [m^3/s] je tok vzduchu, A [m^2] je plocha vrstvy kolmá ke směru toku. [1]

1.5 Odvod kapalné vlhkosti z povrchu lidského těla

Při odpařování potu vzniká takzvaný ochlazovací efekt. Je-li člověk oblečený, transport vlhkosti se řídí:

- Difúzí
- Kapilárně
- Sorpčně

1.5.1 Difúze

Prostup vlhkostí z kůže přes textilií je učiněn pomocí pórů. Difúzní odpor několika oděvních vrstev různých druhů a kvalit se sčítá a důležitou roli hraje i odpor vzduchových mezivrstev. Otevřené materiály mají větší propustnost pro vodní páry díky větší porositě, proto jsou pleteniny propustnější než tkaniny.

1.5.2 Kapilární odvod vlhkosti

Součinitel měrné tepelné vodivosti λ představuje množství tepla, které proteče jednotkou délky za jednotku času a vytvoří rozdíl teplot 1 K. S rostoucí teplotou teplotní vodivost klesá, výsledná hodnota se dělí 10^3 . Materiály, které mají vysokou hodnotu λ se označují jako vodiče, materiály s nízkou hodnotou λ jako izolátory. Nejmenší tepelnou vodivost mají materiály z velmi jemných vláken. Průměr vláken a tloušťka tepelnou vodivost zvyšují.

1.5.3 Sorpce

Vlhkost nebo kapilární pot proniká do neuspořádaných mezimolekulárních oblastí vlákna a dochází k navázání na hydrofilní skupiny v molekulové struktuře. Textilie by aspoň z části měla obsahovat sorpční vlákna. Proces sorpce je nejpomalejší.

Všechny tři mechanismy se na transportu vlhkosti zúčastňují současně. Nejrychlejší mechanismus transportu je kapilární a difúzní, nejpomalejším je pak transport sorpční. [1]

1.6 Sluneční záření

Sluneční energie nebo také solární radiace představuje energii, bez které by život na Zemi neexistoval. Jde o energii označovanou jako obnovitelná.

Jedním z projevů sluneční energie dopadající na Zemi je teplo (tepelná energie). Tepelná výměna, při které dochází ke změně vnitřní energie mezi jednotlivými systémy, aniž by při tom docházelo ke konání práce. Šíření tepla probíhá třemi způsoby, a to vedením, prouděním a zářením (viz. analýza přenosu tepla).

Sluneční záření je energií elektromagnetického záření. Spektrum slunečního záření lze rozdělit:

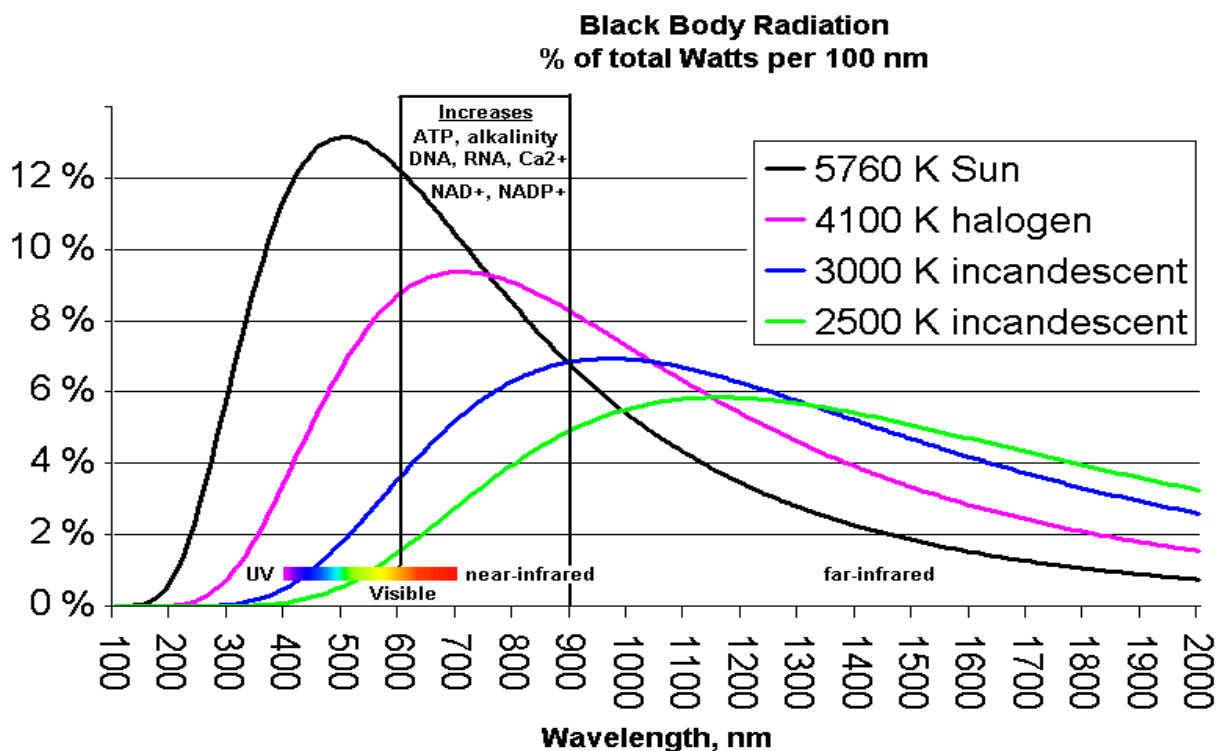
- záření ultrafialové (vlnová délka pod $400\mu\text{m}$)
- záření viditelné (vlnová délka 400 až $750\mu\text{m}$)
- záření infračervené (vlnová délka přes $750\mu\text{m}$)

Příkon záření dopadajícího na povrch zemské atmosféry je $1\,373\text{ W/m}^2$. Jde o tzv. solární konstantu. Část tohoto záření je pohlcena právě atmosférou, které se ovšem týká jen některých vlnových délek. Prakticky celá nejkratší část ultrafialového záření a některé délky infračerveného záření jsou pohlcena atmosférou.

Pro viditelné oblasti je pohlcení jen částečné a závisí na síle vrstvy atmosféry, kterou záření prochází. Při stejné výšce slunce nad obzorem se větší pohlcení odehrává v rovníkových oblastech, naopak menší v polárních oblastech a na horách. [5]

V našich podmínkách je globální radiace k vodorovnému povrchu:

- v letním poledne max. $1\,000$ až $1\,050\text{ W/m}^2$
- v zimním poledni max. 300 W/m^2
- v noci (při úplňku) max. $0,01\text{ W/m}^2$



Obr. č. 4 Spectrum of light from various sources

1.7 Tradiční oděvy obyvatel Severní Afriky

Jde především o oblast pouští a polopouští. Tyto oblasti si můžeme blíže specifikovat jako oblast Severní Afriky (Sahara) a Východní Asie (Arabská poušť) a další. Obyvatelé žijící v těchto oblastech jsou z velké části kmeny Tuaregů, Berberů a Beduínů. Již dlouhá staletí se tu lidé odívají do volných splývavých oděvů. Dalším důležitým a typickým doplňkem je pokrývka hlavy, která plní funkci nejen ochranou, ale také společenskou. Tyto oděvy se v různých částech těchto oblastí a daného kmene liší. Faktory odlišnosti mohou být různé, například vliv náboženství, vliv kultury kmenů a jejich tradice.

1.7.1 Klima severní Afriky

Nejpříjemnější podnebí Severní Afriky je při pobřeží Středozemního moře a kolem povodí dolního Nilu, tzv. subtropické podnebí. Tyto oblasti jsou více osídleny. Většinu Severní Afriky pokrývají pouště. Největší pouští je Sahara. Život na poušti se velmi liší nejen krajinou, ale ji způsobem života a lidmi. Díky extrémním denním teplotám je život na poušti, tedy aktivita obyvatel i ostatních živočichů, značně omezena. Během odpoledních hodin, kdy je sluneční záření nejintenzivnější, je život na pouštích pozastaven a znovu ožívá až s příchodem večerního šera.

Typické pro tuto oblast jsou teplotní rozdíly mezi denními a nočními teplotami. Přes den za letního období mohou teploty dosahovat až 50°C, naopak pře noc může teplota klesnout až k -10°C. Velmi malý výskyt srážek (50 – 100mm ročně) je výsledkem extrémně suchého klimatu.

Teplotní denní maxima se mění s ročním obdobím. Nejtepleji je od července do září, kdy teploty dosahují svého maxima. Průměrná teplota je 42°C, srážky 0mm. S postupným příchodem podzimních měsíců ubývá i na extrémních teplotách (říjen 30°C, listopad 25°C). S klesajícími teplotami přicházejí i srážky. Srážky mohou přetrvat až do dubna, poté nastane období horka a sucha. V některých oblastech se může stát, že za celý rok se nevyskytnou žádné srážky. [7]

1.7.2 Obyvatelé pouštních oblastí

1.7.2.1 Tuaregové

Typickým prvkem mužského oděvu je turban. Jde o pruh látky dlouhý 3 – 10 metrů. Tento šátek si uvazují kolem hlavy a zakrývají si jím téměř celý obličej. Šátek plní funkci ochranou před sluncem, větrem a pískem. Dále také společenskou funkci, kterou vyjadřují svou zdvořilost a úctu vůči ostatním. Šátek bývá jednobarevný. Bílá barva vyjadřuje vyšší společenskou úroveň a nosí ji především významní představitelé komunity. Ještě slavnostnější ráz má šátek barvy indigo, který bývá lněný a s hustší vazbou, než je tomu u šátků z bavlny.



Obr. č. 5 Taugerský muž

Nejrozšířenější oděv mezi Tuaregy je *bubu*. Jedná se o dlouhou širokou tuniku s hlubokým výstřihem do V a s dlouhými rukávy. Používaným materiálem je tzv. bazén. Jde o speciálně upravovanou bavlnu, která činí látku tuhou a lesklou. Ovšem ve volné poušti se nosí bubu z běžné bavlny, tedy lehké a vzdušné, která jim přináší lepší komfort. Tuaregové dávají přednost jednobarevným oděvům. Tradiční barvou byla tmavomodrá barva, která stále převažuje. Kalhoty bývají tradičně široké a sladěné do barev bubu.

Ženy nejčastěji nosí šaty zvané *tasernest*, pod nimiž nosí sukni. Tasernest je velmi dlouhý a široký pruh látky, který se ovine kolem těla. Šaty jsou



převážně z lehkého mušelínu, tak aby byly lehké, pohodlné a hlavně vzdušné. I u žen převažuje tradiční tmavě modrá barva.[8]

Obr. č. 6 Tauregové

1.7.2.2 Beduíni

Beduíni žijící stále kočovným způsobem života na poušti se umějí dokonale adaptovat na extrémní klimatické podmínky těchto oblastí. Jejich oděv je tomu důkazem.

Jako i ostatní obyvatelé pouště, i Beduíni se snaží chránit své tělo od

silného slunečního záření, větru a písku. Tradiční oděv zahaluje celé jejich tělo včetně hlavy, která je také chráněna od nepříznivých vlivů.

Pro ochranu hlavy, obličeje i krku, používají dlouhý pruh látky, zvaný „Keffiya“, který bývá bílé barvy nebo v kombinaci červenobílé nebo v kombinaci černobílé. Keffiya bývá omotána kolem hlavy a krku.

Muži se zpravidla oblékají do dlouhých bavlněných košil zvaných „thawb“, přes které nosí vzdušnou vrchní vrstvu převážně tmavých barev.



Obr. č. 7 Beduín



Obr. č. 8 Beduínské ženy

Ženy se oblékají do dlouhých bavlněných šatů až po kotníky, pod kterými nosí tzv. pantalóny. Tyto šaty mají dlouhé rukávy a bývají velmi bohatě vyšíváné, někdy i batikované. I přes hlavu si omotávají pruhy černé látky pestře zdobené. [9]

1.8 Analýza problému

Hlavní příčinou oděvního diskomfortu v zemích s horkým a relativně suchým klimatem (severní Afrika) je intenzivní sluneční záření. Radiační tok může v letním poledne, při bezmračné obloze, činit v oblastech blízko rovníku, až 1000 W/m^2 při dopadu na horizontální plochu. Pokud je tato plocha černá resp. tmavá a členitá, pak tento tepelný tok je v této ploše s emisivitou blízkou hodnotě $\varepsilon = 1$ (100 %) a odrazivostí ρ blízkou nule plně absorbován. Hladké bílé textilie s odrazivostí ρ kolem 50% však až polovinu tohoto tepelného toku odrazí. Proto většina obyvatel Afriky i turisté nosí bílé oděvy.

Čas od času se však na internetu i z vlastního pozorování dozvídáme, že příslušníci některých severoafrických kmenů nosí černé splývavé oděvy, které jim údajně poskytují vyšší tepelný komfort než oděvy bílé. Vysvětlení několikrát publikované na internetu spočívá v tvrzení, že v důsledku absorpce záření, černý vnější oděv zvýší svou teplotu natolik, že zvýšená rychlost volného konvekčního proudění v mezeře mezi tímto oděvem a spodním prádlem resp. pokožkou nositele oděvu povede k většímu odvodu tepla z pokožky a tím i k většímu tepelnému komfortu nositele. Nicméně, zmíněné tvrzení dosud nebylo potvrzeno spolehlivými měřeními ani teoretickou analýzou.

1.8.1 Analýza přenosu tepla

Standardní princip dosahování jisté úrovně tepelného komfortu pomocí vzduchové mezery mezi vnější textilií a pokožkou resp. spodním prádlem (dále jen s oděvní mezerou) může zřejmě fungovat, pokud okolní vzduch bude chladnější než optimální teplota pokožky t_{sk} , tj. pokud teplota vzduchu t_{air} bude nižší než 33°C . V tomto případě pak chladicí tepelný tok q [W/m^2] daný vztahem

$$q_{konv} = \alpha_{konv} (t_{sk} - t_{air})$$

kde součinitel přestupu tepla α_{konv} [$\text{W/m}^2/\text{K}$] bude stanoven pro mezeru mezi vertikálními stěnami pomocí Grasshofova bezrozměrného čísla pro volnou konvekci. Při širší

mezeře můžeme předpokládat, že teplota vzduchu v mezeře se během jeho pohybu vzhůru uvnitř změní jen málo. Nicméně, za daných podmínek bude stále do kůže vstupovat teplo vedením v mezeře o šířce h mezi vnější textilií a kůží, dle vztahu pro tepelný tok q_{kond} přenášený vedením

$$q_{kond} = (t_{sk} - t_{ext}) / R_{mez} = (t_{sk} - t_{ext}) \lambda_{ekv} / h$$

kde R_{mez} [m^2K/W] je tepelný odpor mezery a λ_{ekv} je ekvivalentní tepelná vodivost mezery zahrnující vliv volné konvekce. Aby tento nežádoucí přenos tepla byl co nejmenší, měla by být šířka mezery h (až do meze cca 20mm) co největší.

Kromě vedení a proudění se teplo v oděvní mezeře šíří také zářením, a to dle známého vztahu pro tepelný tok q_{rad} přenášený zářením mezi dvěma rovnoměrnými deskami (symbol σ zde značí tzv. radiační konstantu)

$$q_{rad} = \sigma (T_{ext}^4 - T_{sk}^4) / (\epsilon_{ext}^{-1} + \epsilon_{sk}^{-1} - 1)$$

kde teploty vnější textilie a pokožky (T_{ext} , T_{sk}) jsou vyjádřeny v Kelvinově stupnici, symboly ϵ_{ext} a ϵ_{sk} jsou pak hodnoty povrchových emisivit vnitřní stany vnější textilie a pokožky. Pro snížení tepelného výkonu přenášeného zářením mají být emisivity co nejnižší, tj. cca 0,5 pro hladkou bílou tkaninu. [3]

Z tohoto rozboru plyne nepříliš originální, avšak v praxi dosud neaplikované doporučení: Pokud ve smyslu této analýzy bude vnější plocha tropického oděvu černá nebo tmavá, pak alespoň vnitřní strana vnější textilie u tropického oděvu by měla být bílá.

Pokud bude vnější plocha tropického oděvu černá nebo tmavá a struktura textilie relativně drsná, pak emisivita (schopnost absorpce viditelného i neviditelného slunečního tepelného záření) bude vyšší než 0,9 v důsledku čehož se tato textile bude zahřívat a tím vyvolá volné konvekční proudění v oděvní mezeře.

Radiační tepelný tok $q_{rad,ext}$ do textilie pak bude úměrný velikosti místního slunečního tepelného toku $q_{rad,sol}$, který bude záviset na zeměpisné šířce, roční sezóně, denní době, zakrytí oblohy mraky a čistotě ovzduší. Na konvekčním simulátoru instalovaném na TU-Liberec, FT, katedře hodnocení textilií byl tento sluneční tok simulován pomocí

halogenového světelného zdroje 150 W, který má spektrální rozložení energií podobné slunečnímu. Přibližováním zdroje k modelu lidského trupu byla nastavena hodnota tepelného toku $q_{rad,sol}$ na cca 400 W/m².

Skutečný radiální tepelný tok $q_{rad,ext}$ vstupující do vnější textilie pak bude dán vztahem

$$q_{rad,ext} = q_{rad,sol} \cdot \epsilon_{ext} \cdot \sin \varphi$$

kde $\sin \varphi$ znamená úhel mezi rovinou vnější textilie a osou zářivého toku ze zdroje. V našem případě hodnota $\sin \varphi$ se rovnala 1 (pro kolmý dopad záření). [3]

V dalším postupu bude stanovena teplota vnější textilie výpočtem a porovnány s experimentem. Zanedbáme – li přenos tepla zářením a vedením z vnější textilie do (záměrně) bílého spodního prádla na těle jeho nositele, pak rovnice tepelné bilance se omezí na ztráty volnou konvekcí z obou ploch a vlastní rovnice bude jednoduchá:

$$q_{rad,sol} \cdot \epsilon_{ext} \cdot \sin \varphi = 2 \alpha_{konv} (t_{ext} - t_{air}) = 2 \alpha_{konv} \Delta t$$

V prvním přiblížení budeme hodnoty α_{konv} na obou stranách vnější textilie považovat za shodné, a jejich výši dle praktických zkušeností odhadneme na 10 W/m²K. Z výpočtu pak vyplyne, že zvýšení teploty textilie Δt nad teplotu okolního vzduchu a pokožky (obě necht' jsou považovány za shodné, a to na úrovni 33°C) bude značně vysoké, až 20°C. Z ověřovacích měření pomocí pyrometru vyplynuly hodnoty $\Delta t = 30^\circ\text{C}$ pro černou textilií a $\Delta t = 18^\circ\text{C}$ pro textilií bílou. Při co nepřesnější změření teplot pomocí této bezkontaktní metody byly na pyrometru nastaveny odpovídající hodnoty emisivity (0,6 a 0,9).

Tyto překvapivě vysoké hodnoty pak by mohly vyvolat dosti intenzivní konvekční proudění v oděvní mezeře a tak vysvětlit a potvrdit pozitivní funkci tmavých oděvů z hlediska dosahování jisté úrovně tepelného komfortu jejich nositelů, jak bude analyzováno v dalším textu.

1.8.2 Analýza přenosu hmoty

Hlavním cílem práce (dle upřesněného zadání) je však experimentální stanovení takové struktury, složení a uspořádání tropického oděvu (jak bude tento oděv v dalším textu nazýván, i když se spíše jedná o “pouštní” oděv), kdy teplota vzduchu bude stejná jako teplota povrchu kůže. V tomto případě pak oděvní systém může poskytnout dostatečný tepelný komfort pouze za spolupůsobení odparu vlhkosti (potu), kde konvekční proud v oděvní mezeře vyvolaný ohřevem vnější textilie znásobí intenzitu odparu vlhkosti m^* [kg/m²/s].

Pokud střední teplota vzduchu v mezeře se ustaví na hodnotě $t_m = t_{sk} + \Delta t/2$, přičemž $t_m > t_{air}$, pak střední rychlost proudění v_m [m/s] v mezeře o výšce H [m] se přibližně stanoví dle vztahu [10]

$$v_m = C [2 \cdot g \cdot H (T_m - T_{air}) / T_m]^{0,5}$$

kde C je experimentální konstanta zahrnující geometrii zařízení a vnitřní tření, g značí zemské zrychlení $g = 9,81$ [m/s²], a střední teplota vzduchu v mezeře a mimo mezeru (T_m , T_{air}) jsou vyjádřeny v Kelvinově stupnici.

Ke stanovení výparného (chladícího) tepelného toku, musíme znát součinitel přenosu hmoty konvekcí β_{konv} [kg/(m².s.Pa)]. Ke stanovení vlivu rychlosti proudění na tento součinitel vyjdeme z tzv. Lewisovy analogie mezi součinitelem přestupu tepla α_{konv} a součinitelem přenosu hmoty konvekcí β_{konv} . Zjednodušeně platí, že:

$$\beta_{konv} = k_{onst} \cdot \alpha_{konv}$$

Pro přenos tepla při malých rychlostech vzduchu v platí:

$$\alpha_{konv} = 8,3 v^{0,5}$$

Pro hmotnost páry m^* [kg/m²/s] odpařované v našem případě ze zavlhčené první textilní vrstvy uvolňující nasycenou vodní páru o parciálním tlaku p_{wvsat} do vzduchu o (nižším) tlaku vodní páry p_{wvair} pak bude platit úměrnost

$$m^* = konst. v^{0,5} (p_{wvsat} - p_{wvair})$$

Chladicí výparný tok q_{cool} pak vyplýne po vynásobení tohoto vztahu chladicím teplem vody L [J/kg odpařené vody]:

$$q_{cool} = \text{konst} \cdot L v^{0,5} (p_{wvsat} - p_{wvair}) = \text{konst} \cdot L (p_{wvsat} - p_{wvair}) [2 \cdot g \cdot H (T_m - T_{air}) / T_m]^{0,5}$$

Po dosazení vztahu pro rychlost proudění vyvolaného komínovým efektem pak obdržíme výsledný vztah

$$q_{cool} = \text{konst} \cdot L (p_{wvsat} - p_{wvair}) [2 \cdot g \cdot H (T_m - T_{air}) / T_m]^{0,5}$$

Z provedené kvalitativní analýzy plyne, že zvýšením střední teploty vzduchu T_m v oděvní mezeře by mohlo dojít i ke zvýšení chladicího toku q_{cool} nad úroveň, kterou vyvolá ohřev pokožky zářivým tokem $q_{rad,ext}$. Tento zářivý tok ze simulovaného zdroje bude jediným zdrojem ohřevu pokožky nositele během speciální modelové situace uvažované v tomto experimentu, kdy teplota pokožky i teplota vzduchu jsou stejné (bude vysvětleno v dalším textu). V případě, kde teploty pokožky i vzduchu jsou stejné, zaniká přenos tepla konvekcí. Zůstává však slabý ochlazovací efekt odparem vlhkosti z nestíněné první textilní vrstvy. Nicméně, při absenci záření i tento slabý chladicí tok by měl poskytnout postačující úroveň tepelného komfortu. [3]

1.9 Proč se obyvatelé některých kmenů Severní Afriky odívají do tmavých barev

Na tuto otázku není jednoznačná odpověď. Může existovat více názorů na danou věc. Jedna z nich může být vysvětlena z hlediska společenského. Opakem k tomuto tvrzení může být teorie vycházející z fyzikálních zákonů.

Na webu můžeme najít mnoho komentářů a krátkých článků vysvětlujících, proč dávají právě přednost černé barvě oděvu před bílou.

Příklady z internetu:

Heat is not just coming in off of the sun. It's also coming off a person's own, sweating, warm-blooded, mammalian body, which is a lot closer than the sun is. When all that body heat hits the white clothing covering it, it gets reflected right back towards the body. When we wear white, we cook ourselves.

The best color to keep cool in the heat, it turns out, is to wear black. Black absorbs everything coming in from the sun, sure. But black also absorbs energy from the body instead of reflecting it back. Now, the helpfulness of black clothes depends on finding black clothes that are the same thickness and looseness as those summery white clothes. Black clothing also needs a little help from atmospheric conditions. Once it has absorbed heat, it has to have some way to radiate it away. If there's even a little wind, black clothing is the better choice for those who want to keep cool. [11]



Obr. č. 9 Teplotní rozdíl černé a bílé róby při slunečním záření

Darker clothes absorb more of the sun's energy, so this seems to make no sense. In fact, black robes have been found to be 6 Celsius degrees hotter than similar white robes. The Bedouin secret lies in the convection breeze set up when the warmer air inside a dark robe rises faster and escapes upward through the porous material, sucking in air from below. So a black robe winds up being no hotter, and its circulating air may even make things more comfortable.[12]

Komentáře z internetu povětšinou odkazují na fyzikální zákony, tedy procesy spojenými s přenosem tepla. Proudění vzduchu v mezeře mezi oděvem a pokožkou, je vyvolané tzv. komínovým efektem. Komínový efekt, který by měl přinést uživateli větší

tepelný komfort nebo-li chladicí efekt za předpokladu černého oděvu, je pouhou součástí teoretické úvahy.

Články a komentáře z internetu jsou pravdivé jen z části a to proto, že nezahrnuje praktické výsledky, které by danou teorii potvrdily. Cílem práce bude zkoumat tuto problematiku a převést teoretické úvahy do praktických výsledků.

1.10 Komínový efekt

Komínový efekt je závislý na slunečním záření. Jde o tzv. solární nebo-li termický komín. Solární komín využívá pasivně sluneční energii při ohřívání vzduchu. Při tomto procesu vzniká konvekční proudění vzduchu, které napomáhá větrání a chlazení.

Komínový efekt je fyzikální princip založený na proudění vzduchu za účelem vyrovnaní teplot či tlaku vzduchu. Tento jev je závislý na rozdílu teplot nebo tlaku vzduchu, dále na výšce a průřezu komína. V komíně vzniká silné proudění, které vtahuje další vzduch zespoda. [13]

V případě komínového efektu vznikajícího v oděvní soustavě, je tento jev závislý také na rozdílu teplot nebo tlaku vzduchu, dále na velikosti povrchu oděvním materiálu, který absorbuje sluneční záření, a na šířce mezery mezi vrchním oděvem a pokožkou.

1. PRAKTICKÁ ČÁST

Tato část bakalářské práce je zaměřená na experiment, který měl dospět k výsledkům vysvětlující výhody černého oděvu v horkém a suchém klimatu.

Je zde k zodpovězení i otázka vlivu tloušťky mezery mezi vrchním oděvem a pokožkou (či spodním prádlem).

2.1 Pomůcky použité při experimentu:

- konvekční simulátor s čidlem umístěným uprostřed, který snímá tepelný tok
- halogenová žárovka
- Almeno 2290-4S
- pyrometr
- termočlánek
- bílý a černý papír
- bílé a černé plošné textilie různého materiálového složení (níže popsané)
- nůžky, lepidlo, rozprašovač na vodu, oboustranná lepicí páska, polyuretanová deska

2.1.1 Popis konvekčního simulátoru a stanovení referenční hodnoty tepelného toku při dosažení postačujícího tepelného komfortu

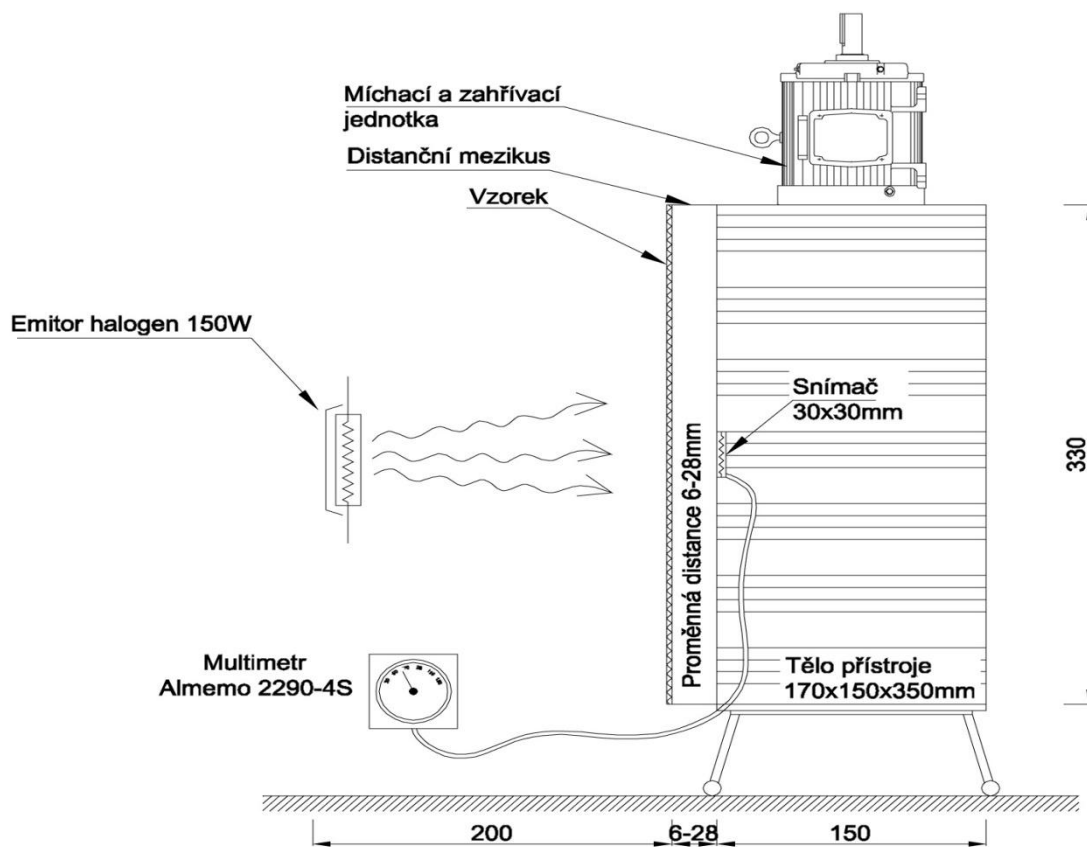
Simulátor je tvořen plechovou nádobou obsahující 10 litrů promíchávané vody. Vodu lze udržovat topným článkem 1000 W a regulátorem na teplotě 20 – 90°C. Vertikálně umístěná nádoba simulátoru má představovat trup lidského těla. Uprostřed výšky simulátoru se nachází citlivý tenký snímač tepelného toku. Jeho výstupní napětí je měřeno speciálním citlivým milivoltmetrem. Zkoušená textilie se připevňuje na simulátor pružnými pásky nebo se na okrajích lepí.

Vnější okrajové podmínky jsou realizovány buď již popsáním zdrojem tepelného záření, nebo příložným kontaktním tělesem o stabilizované teplotě od +5°C do +60°C. Lze také použít ventilátor pro simulaci konvekce.

Pro potřeby této bakalářské práce je používán nevytápěný, pouze promíchávaný simulátor. Díky vysokému povrchu nádoby a velké tepelné kapacitě vodní náplně snadno umožňuje simulaci izotermních dějů. Protože lidská pokožka mívá při dosažení tepelného komfortu teplotu kolem 33°C, pak izotermní režim automaticky představuje simulaci tepelného prostředí o teplotě 33°C.

Při absenci slunečního záření se při této teplotě člověk oblečený do jediné textilní vrstvy již potí, přičemž úroveň pocení odpovídá běžné volné konvekci. Na simulátoru pak dostatečně zvlhčená textilie spodního prádla vytváří maximum chladicího efektu, díky kterému by se nositel oděvu v daných teplotních podmínkách (33°C, nízká vlhkost vzduchu 30-40%) ještě měl cítit komfortně. Tato úroveň relativně postačujícího chladicího toku v podmínkách prováděného experimentu představovala $q_{cool,comf} = -100 \text{ W/m}^2$. Z tepelné bilance lidského těla totiž plyne, že při chůzi průměrný člověk vytváří cca 250 W tepelného výkonu, z čehož cca 50-70 W se odvede nevnímaným pocením a dýcháním (plicním pocením). Při izotermních podmínkách nevznikají konvekční ztráty, takže zmíněných 100 W/m² neboli celkových 180 W pak představuje požadavek na chladicí systém lidského těla na principu pocení.

Pokud při níže uvedených experimentech se konkrétní chladicí tok přiblížil této úrovni, pak příslušné uspořádání, složení a struktura studovaného souboru textilií představovaly optimální řešení nového tropického oděvu. [4]



Obr. č. 10 Konvekční simulátor

2.1.2 Popis halogenové žárovky

Sluneční energie byla nasimulována pomocí halogenového světelného zdroje 150 W, který má spektrální rozložení energií podobné slunečnímu, neboť teplota zářícího vlákna přesahuje 3500 K.

Jedná se o speciální druh žárovky, která má vyšší stupeň světelné účinnosti. Tento typ žárovky má delší životnost než obyčejné zdroje. K výrobě žárovek se používá křemenné sklo kvůli značně vyšším teplotám (250°C). Halogenové žárovky jsou zdrojem ultrafialového záření, ale křemenné sklo většinu tohoto záření pohltí. Sklo může být velmi rychle poškozeno následkem styku s pokožkou. Soli, obsažené v potu, se za provozu žárovky vlepávají do povrchu skla, která způsobuje změnu struktury (rekrytalizaci), přehřátí a nakonec prasknutí.

Halogenové žárovky pro všeobecné osvětlování bývají trubicovitého tvaru v délce 80 a 114 mm a jejich výkon je nejčastěji 60 až 500 W. [14]

2.1.3 Popis Almeno 2290-4S

Přístroj Almeno 2290-4S představuje výstupní zařízení, které je napojeno na citlivý snímač umístěný na konvekčním simulátoru. Přenosný bateriový přístroj sestává z universální centrální měřicí jednotky s digitální indikací a možností připojení 4 měřících sond. Mezi sondami a měřicí jednotkou se nachází speciální přizpůsobovací konektory. Jde o přenos výsledků elektrických měření. Výhodou tohoto přístroje je snadnost instalace a pohotovost.

Sondy měří:

- rychlost proudění na vrtulkovém principu do 20m/s
- teplotu a relativní vlhkost vzduchu na kondenzátorovém principu
- teplotu do 600°C pomocí tenkého dlouhého termočlánu
- otáčky na fotoelektrickém principu
- intenzitu celkového UV záření
- teplotu do 200°C bezdotykově pomocí málo přesného jednoduchého přístroje [15]



Obr. č. 11 Almeno 2290-4S

2.1.4 Popis termočlánu

Termočlánek je zdrojem elektrického proudu, který je používán především jako čidlo pro přesné měření teploty. Využívá principu termoelektrického jevu. [16]

2.1.5 Popis pyrometru

Jedná se bezdotykové teploměry, které určují teplotu měřeného tělesa z teplotního záření. Měří se jimi převážně teploty v rozsahu -50 °C až +3500 °C. [17]

2.1.6 Popis textilních vzorků a jejich parametry

Vrchní vrstva – pro svrchní oděv byly vybrány čtyři vzorky. Dva bavlněné, představující klasický oděv obyvatel pouště, a dva vzorky z polyesteru.

VZOREK č. 1,2

- tkanina, plátno
- materiálové složení: 100% bavlna
- plošná hmotnost: 112g/m^2
- barva: bílá, černá

VZOREK č. 3

- zátažná pletenina, značka: Cooldry
- materiálové složení: 98% polyester, 2% elastan
- plošná hmotnost: 135g/m^2
- barva: bílá

VZOREK č. 4

- zátažná pletenina, značka: Singtex
- materiálové složení: 98% polyester, 2% elastan
- plošná hmotnost: 190g/m^2
- barva: černá

Spodní vrstva - pro spodní vrstvu byly použity materiály výše popsané a to: bílá a černá tkanina, pletenina Cooldry. Dále byly na spodní vrstvu použity materiály:

VZOREK č. 5

- osnovní pletenina, trikot (velmi řídká)
- materiálové složení: 100% polyester
- plošná hmotnost: 26g/m^2
- barva: černá

VZOREK č. 6

- netkaná textilie
- materiálové složení: 100% polyamid 6
- plošná hmotnost: 6 g/m²
- barva: bílá

2.2 Měření na Permetestu

Na tomto přístroji byl změřen výparný odpor [Pa.m²/W] a propustnost pro vodní páry [%] pro dané textilní materiály použité při experimentu. Na každém vzorku bylo měřeno 3krát.

Tabulka č. 1 Měření na přístroji Permetest

	Plátno bílé	Plátno černé	Singtex	Cooldry
Ret [Pa.m ² /W]	1 (vc=8,2%)	1,1 (vc=13,1%)	1,4 (vc=2,8%)	1,1 (vc=2,8)
Paropropustnost [%]	81,5 (vc=1,7%)	80,8 (vc=3%)	75,2 (vc=0,9%)	79,9 (vc=0,5%)

2.3 Měření na přístroji Alambeta

Přístroj Alambeta posloužil pro změření tloušťky ***h***, tepelné vodivosti ***λ***, tepelné jímavosti ***b***, tepelného odporu ***r*** a špičkového tepelného toku ***q_{max}***.

Tabulka č.2 Měření na přístroji Alambeta

	Plátno bílé	Plátno černé	Singtex	Cooldry
<i>h</i> [mm]	0,32	0,34	0,61	0,51
<i>λ</i> [W/m/K]	37,1	37,7	55,3	45
<i>b</i> [W.s ^{1/2} /m ² /K]	152	137	170	120
<i>r</i> [K.m ² /W]	8,7	9,1	10,9	11,4
<i>q_{max}</i> [W/m ²]	0,468	0,460	0,509	0,396

2.4 Měření na přístroji FX 3300

Důležitým parametrem pro oděv v horkém suchém klimatu je jeho prodyšnost. Struktura tohoto oděvu by měla být dostatečně porézní, tedy prodyšná, ale zároveň by neměla propouštět sluneční záření.

V tabulce jsou hodnoty pro prodyšnost naměřené pouze pro svrchní textilní vzorky. Z každého vzorku byly naměřeny tři hodnoty.

Tabulka č. 3 Měření na přístroji FX 3300

	Naměřené průtoky vzduchu ($\text{l/m}^2/\text{s}$) při tlakovém spádu 100 Pa			aritmetický průměr	směrodatná odchylka	variační koeficient
	1.	2.	3.			
plátno bílé	250	290	315	285	32,8	11,5
plátno černé	207	337	340	295	76	25,8
Singtex	492	479	447	473	23,2	4,9
Cooldry	1280	1220	1220	1240	34,6	2,8

2.5 Princip měření

Ve všech měřeních předpokládáme dvě textilní vrstvy (v případě zkoušky s papírem jsou použity též dvě papírové čtvrtky). Vnitřní vrstva, která je vždy v naprostém kontaktu se snímačem, představuje spodní ošacení, tedy vrstvu spodního prádla. Vnější vrstva nám představuje samotný oděv. Měření bylo prováděno pouze pro dvoubarevnou kombinaci černé a bílé.

Princip měření spočíval v důkladné přípravě. Vzdálenost konvekčního simulátoru od halogenové žárovky byla nastavena tak, aby tepelný tok přiváděný do snímače byl 500 W/m^2 , při zakrytí snímače černou textilií (černou textilií proto, abychom zvýšili emisivitu snímače = kalibrace). Posléze byl tepelný tok snížen na 409 W/m^2 . Výška halogenové žárovky byla nastavena na vertikální polohu aby energie šířící se ze zářiče dopadala na co největší plochu výškově orientovaného textilního vzorku.

Další příprava spočívala v nastavení šířky mezer mezi zakrytým snímačem a přiloženým materiálem. K tomu napomohly pásky (cca 2cm široké) z obou stran polepené oboustrannou lepicí páskou. Díky těmto oboustranně lepicím páskám bylo nastavení mezer velmi zjednodušeno. Přilepení jednotlivých pruhů po obou stranách konvekčního simulátoru (ve vzdálenosti 14cm) a jejich postupného vrstvení. Na oboustrannou pásku se zlehka připevňoval i odjímal textilní vzorek (vzorky o velikosti 27*14cm).

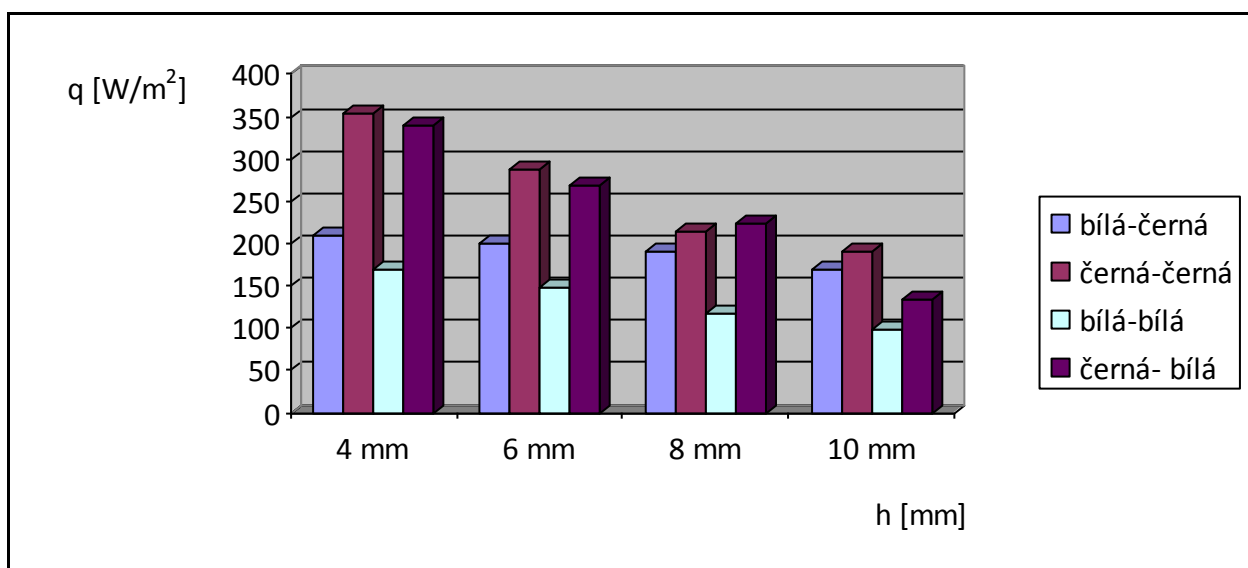
Výstupním zařízením je přístroj Alamenno 2290-4S, který je připojen ke snímači. Hodnoty výstupního zařízení jsou v milivoltech, které po přepočítání udávají hodnotu tepelného toku q [W/m^2]. Samotné měření spočívá v kombinování barevných vrstev s kombinací různých šířek mezer.

Hodnoty byly zaznamenávány vždy v intervalu jedné minuty. Protože elektrický proud přiváděný do zářiče není stabilní, hodnoty kolísaly. Proto se z řady hodnot vypočetl průměr. (Pozn.: Kolísavý proud je pouze jedním z faktorů ovlivňující nestálou hodnotu.)

Cílem měření bylo nalézt takovou kombinaci (barev, struktury materiálu a mezery), která by dosáhla nejvyššího možného chladícího efektu.

2.5.1 Měření s bílým a černým papírem

Měření mělo ukázat, jaké jsou rozdíly mezi bílou a černou barvou při záření tepelného zdroje na barevné papíry v závislosti na různých šířkách mezer. Již z teoretické části víme, že bílá barva odráží viditelné energetické záření (světlo) a černá ho naopak pohlcuje a tím se černá plocha rychleji zahřívá. Měření bylo provedeno pro všechny možné kombinace barev.



Graf č. 1 Měření s černým a bílým papírem

Pozn.: první barva označuje vrchní vrstvu, druhá je spodní vrstva

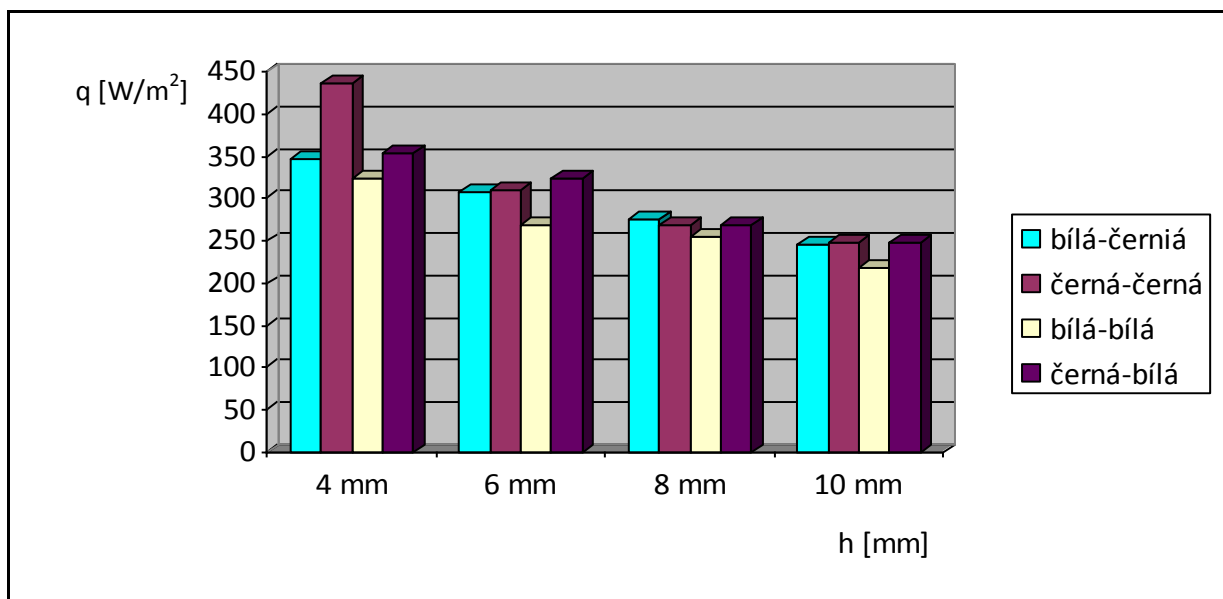
I v případě měření s papírem byla vzdálenost nastavena tak, aby tepelný tok byl $q = 500 \text{ W/m}^2$ s černým papírem na snímači. Při záměně černého papíru za bílý a ponechání vzdálenosti nám q kleslo více než o polovinu, a to $q = 193 \text{ W/m}^2$.

2.5.2 Měření s textilními vzorky 1,2

Při tomto měření byly již barevné papíry nahrazeny plošnou textilií. Jednalo se o shodné bavlněné tkaniny bílé a černé barvy (parametry textilie popsané výše). Při měření se vždy kombinovaly barvy jak u vnitřní, tak u vnější vrstvy se šířkami mezer. Měření testováno, zda-li při použití vnější černé tkaniny budou naměřené hodnoty příznivější než u měření s bílou tkaninou a to s odkazem na teorii komínového efektu (popsaný již v teoretické části). Měření bylo provedeno pro všechny možné kombinace barev.

podmínky měření:

- klimatické podmínky laboratoře: 23,7°C a 25% rel. vlhkosti vzduchu.
- tepelný tok $q = 500 \text{ W/m}^2$
- konvekční simulátor – nastaven na teplotu okolí – proudění vody v simulátoru zapnuté



Graf č. 2 Měření s textilními vzorky (1,2) za sucha

Pozn.: první barva označuje vrchní vrstvu, druhá je spodní vrstva

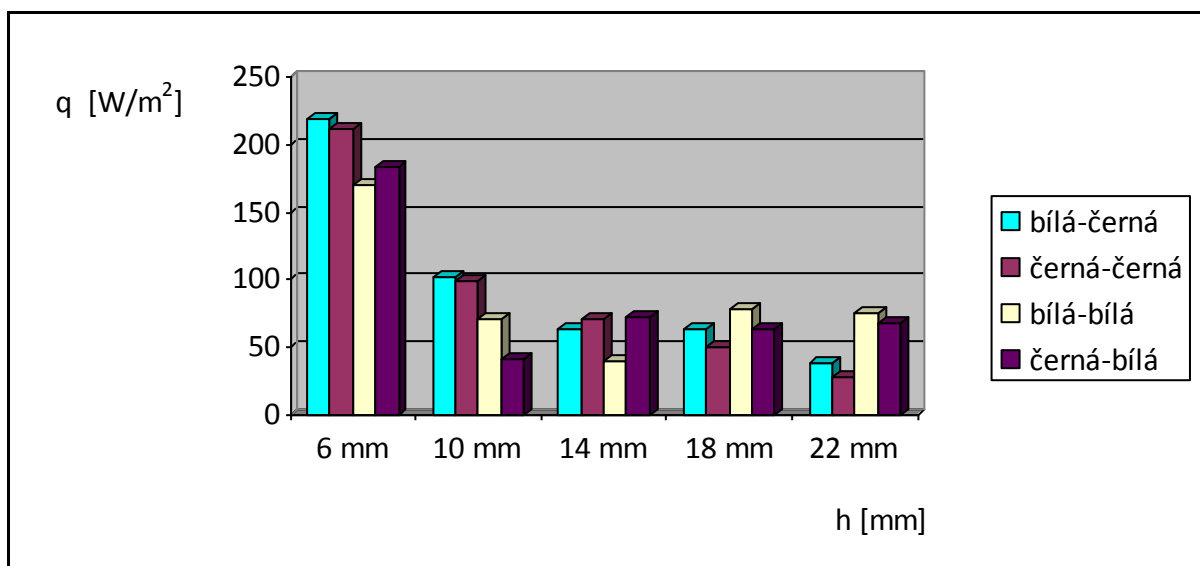
Z grafu můžeme vyčíst výsledky nepatrných rozdílů mezi barvami tkanin. Je jasné, že s větší mezerou budou hodnoty klesat, a to díky zvýšenému proudění vzduchu v mezeře, ale pouze nepatrně (malé rozdíly mezi šířkami mezer). Nejlepší kombinací barev je bílá-bílá při mezeře 10 mm.

2.5.3 Měření s textilními vzorky 1,2 se simulací pocení

V tomto případě byl do měření přidán efekt zavlhčení spodní vrstvy (materiálu připevněnému na snímači), která měla simulovat pocení. Stupnice šířek mezer byla pozměněna. Použití stejných textilních vzorků jako u měření č. 2 (bavlněné textilie v plátňové vazbě). Měření bylo provedeno pro všechny možné kombinace barev.

podmínky měření:

- klimatické podmínky laboratoře: 26,2°C a 22% rel. vlhkosti vzduchu
- simulovaný sluneční tepelný tok $q = 500 \text{ W/m}^2$
- konvekční simulátor – nastaven na teplotu okolí – proudění vody v simulátoru zapnuté



Graf č. 3 Měření s textilními vzorky (1,2) se simulací pocení

Pozn.: první barva označuje svrchní vrstvu, druhá je spodní vrstva, která byla navlhčena

Naměřené výsledky stále neodpovídají stavu, kdy by mělo dojít k chladicímu efektu. Tepelného komfortu se dosahuje při hodnotě nula a chladicí efekt nastává s minusovými hodnotami. Nejbližší k nule se přiblížila kombinace černá - černá při šířce mezery 22 mm.

Do dalšího měření jsou zapojeny textilní vzorky, které mají polyesterové materiálové složení. U spodní vrstvy (nebo-li spodního prádla) z polyesterového materiálu je

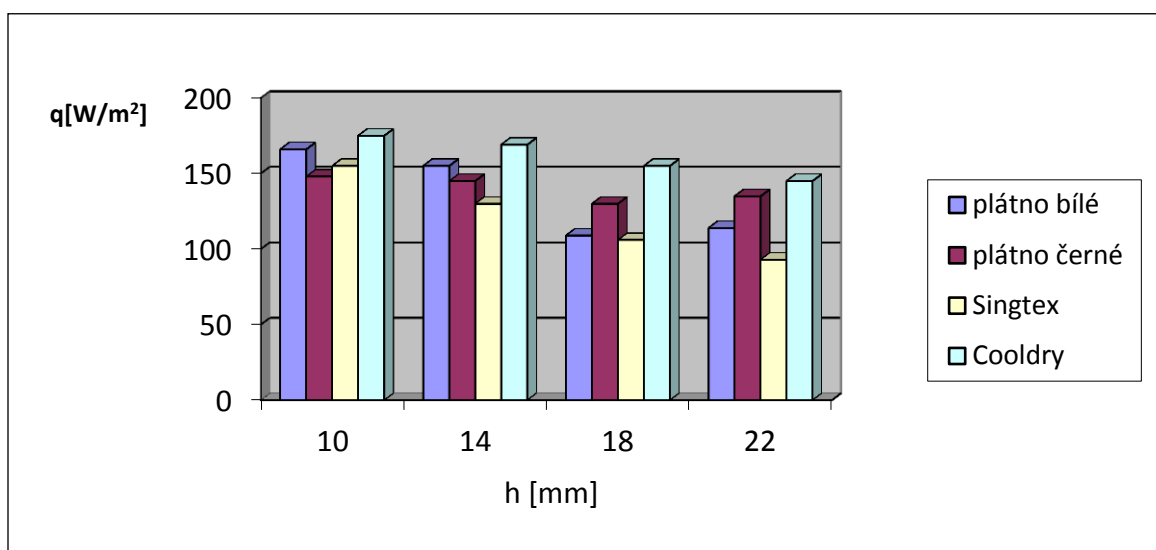
předpokladem konstantní odpařování vody z povrchu a struktury tohoto vzorku. Bavlna je více nasákavá, tím zpomaluje proces odpařování.

2.5.4 Měření se vzorky 1,2,3,4 za simulace pocení

Při měření byly použity čtyři textilní vzorky pro vnější vrstvu představující vrchní oděv (plátno v bílé a černé barvě, pletenina Singtex, pletenina Cooldry) a jeden vzorek pro simulaci spodního prádla, v tomto případě to byla pletenina Cooldry, která byla použita ve všech měřeních. Spodní vzorek je opět zavlhčený.

podmínky měření:

- klimatické podmínky laboratoře: 22,4°C a 24% rel. vlhkosti vzduchu
- tepelný tok $q = 500 \text{ W/m}^2$
- konvekční simulátor – nastaven na teplotu okolí – proudění vody v simulátoru zapnuté



Graf č. 4 Měření s textilními vzorky (1,2,3,4) se simulací pocení, spodní vrstva – vzorek 3

V případě použití materiálu Cooldry pro spodní vrstvu, nebyly výsledky měření nikterak uspokojující. Dokonce jsou horší než v případě, kdy se měřilo pouze s bavlněnými vzorky (viz. měření č.3)

Při šířce mezery nad 18 mm se již očekávalo (jak u měření č.3 tak u měření č.4), že hodnoty budou klesat pod 0. Protože tento okamžik nenastal, hledala se jiná optimální

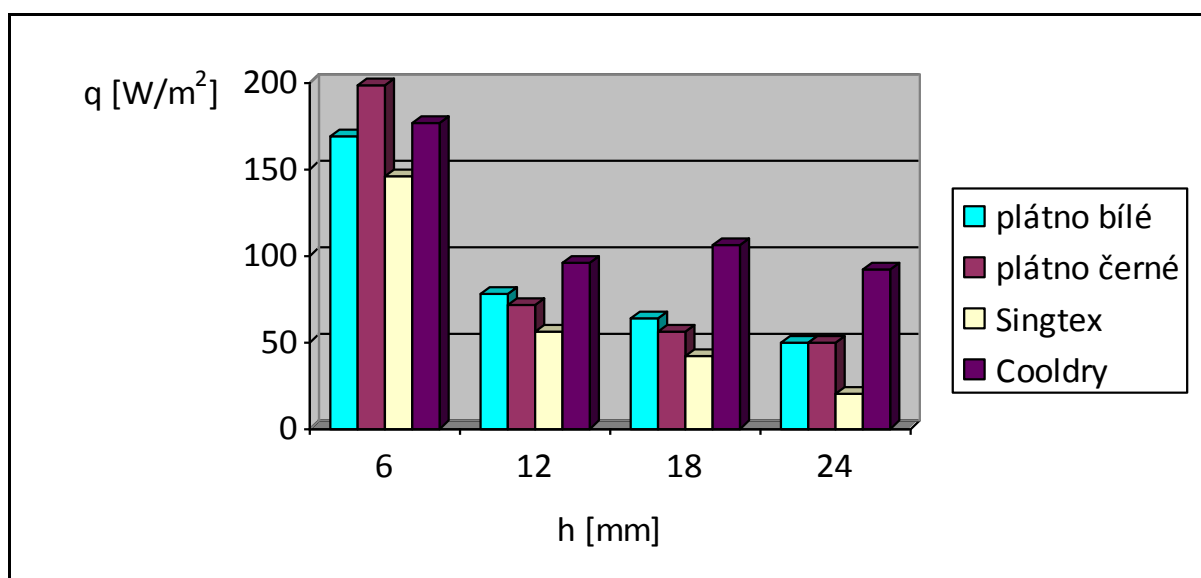
vzdálenost tepelného zdroje od konvekčního simulátoru. Nastavena musela být tak, aby tepelný tok z halogenové žárovky do černé barvy zakrytého snímače nebyl nižší než $q=300 \text{ W/m}^2$, snaha udržet stejný stupeň sluneční energie, která je typická pro pouštní oblasti. Vzdálenost byla nastavena odpovídajícímu tepelnému toku $q = 409 \text{ W/m}^2$. Toto nastavení už nebude měněno a bude se s ním pracovat v dalším experimentálním měření.

2.5.5 Měření se vzorky 1,2,3,4,5 za simulace pocení

Při měření byly použity čtyři textilní vzorky pro vnější vrstvu představující vrchní oděv (plátno v bílé a černé barvě, pletenina Singtex, pletenina Cooldry) a jeden vzorek pro simulaci spodního prádla (černá osnovní pletenina, trikot, velmi řídká), který byl použit pro všechny měření. Vzorek na snímači zavlhlčen.

podmínky měření:

- klimatické podmínky laboratoře: $23,8^\circ\text{C}$ a 27% rel. vlhkosti vzduchu
- tepelný tok $q=409 \text{ W/m}^2$
- konvekční simulátor – nastaven na teplotu okolí – proudění vody v simulátoru zapnuté



Graf č. 5 Měření s textilními vzorky (1,2,3,4) se simulací pocení, spodní vrstva – vzorek 5

Stále není dosaženo hodnot, které by odpovídaly chladicímu efektu. Mezi bavlněnými materiály není velký rozdíl. Nejblíže komfortu se blíží polyesterová pletenina černé barvy, Singtex.

2.5.6 Měření se vzorky 1,2,3,4,6 za sucha i za simulace pocení

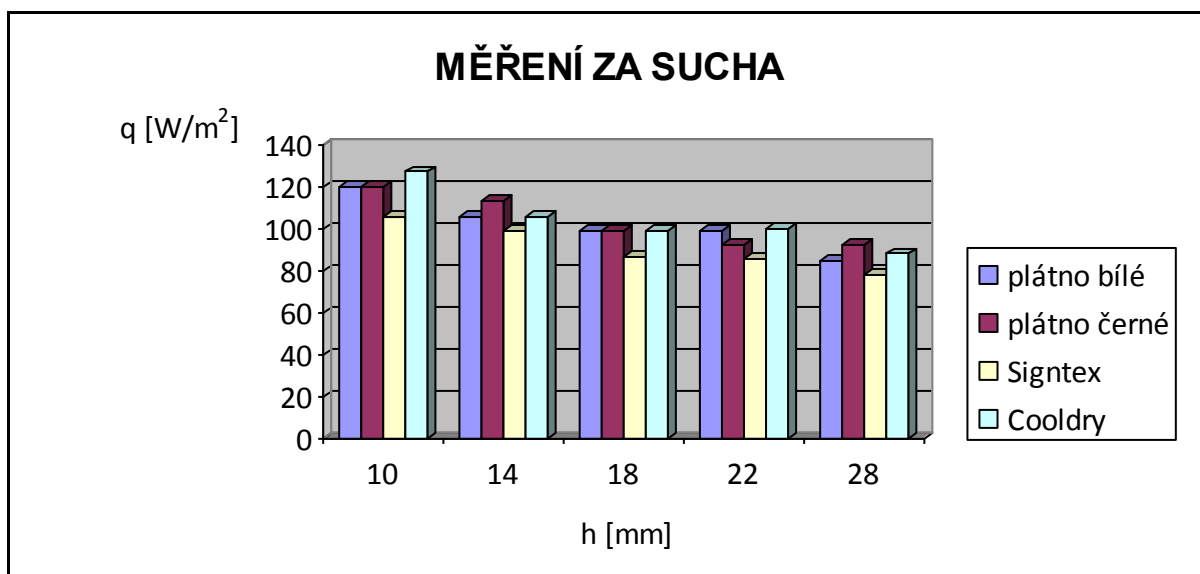
Měření, při kterém bylo dosaženo chladicího efektu. Opět byly použity čtyři vzorky pro vrchní vrstvu (plátno v bílé a černé barvě, pletenina Singtex, pletenina Cooldry) a pro spodní vrstvu byla použita velmi tenká mikroporézní netkaná textilie. Měření bylo provedeno za sucha i za simulace pocení pro porovnání výsledků.

podmínky měření:

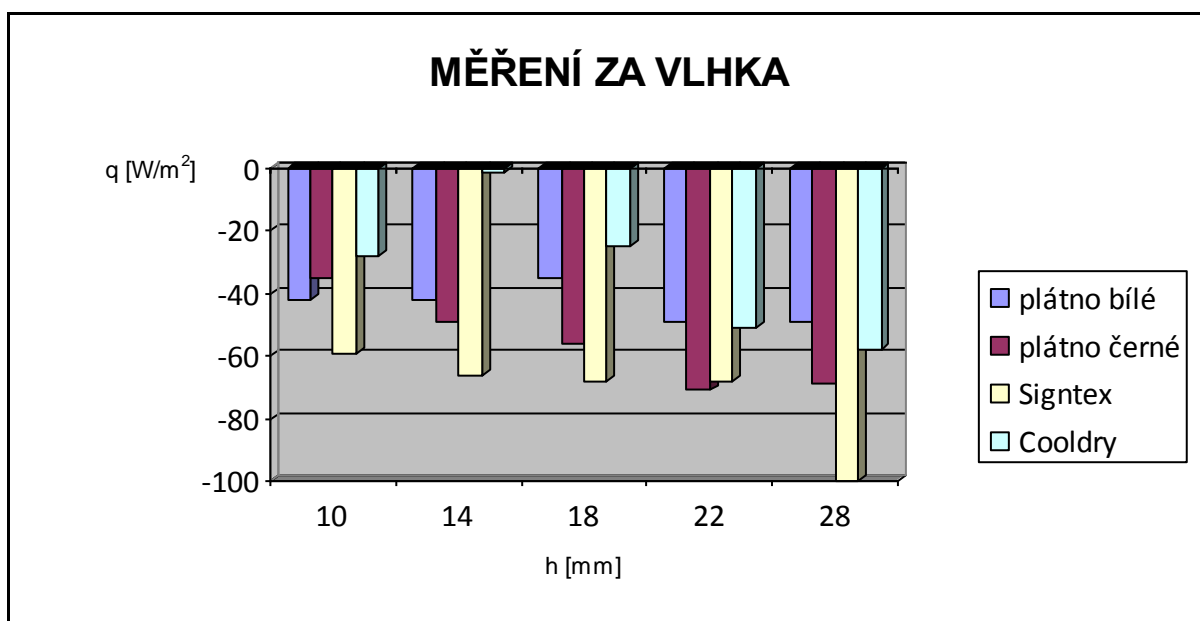
- klimatické podmínky laboratoře: 24°C a 32% rel. vlhkosti vzduchu
- tepelný tok $q=409 \text{ W/m}^2$
- konvekční simulátor – nastaven na teplotu okolí – proudění vody v simulátoru zapnuté

Tabulka č. 4 Měření tepelného toku $q \text{ [W/m}^2\text{]}$

MĚŘENÍ TEPELNÉHO TOKU $q \text{ [W/m}^2\text{]}$										
	měření za sucha					měření se zavlhčením				
	10mm	14mm	18mm	22mm	28mm	10mm	14mm	18mm	22mm	28mm
plátno bílé	120	106	99	99	85	-42	-42	-35	-49	-49
plátno černé	120	113	99	92	92	-35	-49	-56	-71	-69
Singtex	106	99	87	86	78	-59	-66	-68	-68	-100
Cooldry	127	106	99	100	88	-28	-1	-25	-51	-58



Graf č. 6 Měření s textilními vzorky (1,2,3,4) bez simulace pocení, spodní vrstva – vzorek 6

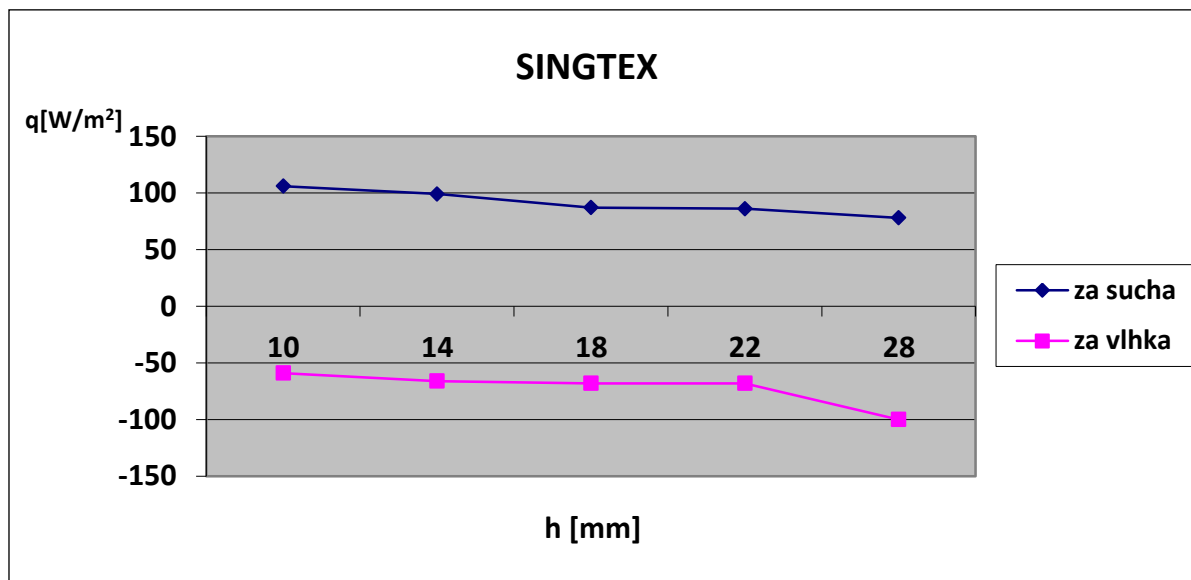


Graf č. 7 Měření s textilními vzorky (1,2,3,4) se simulací pocení, spodní vrstva – vzorek 6

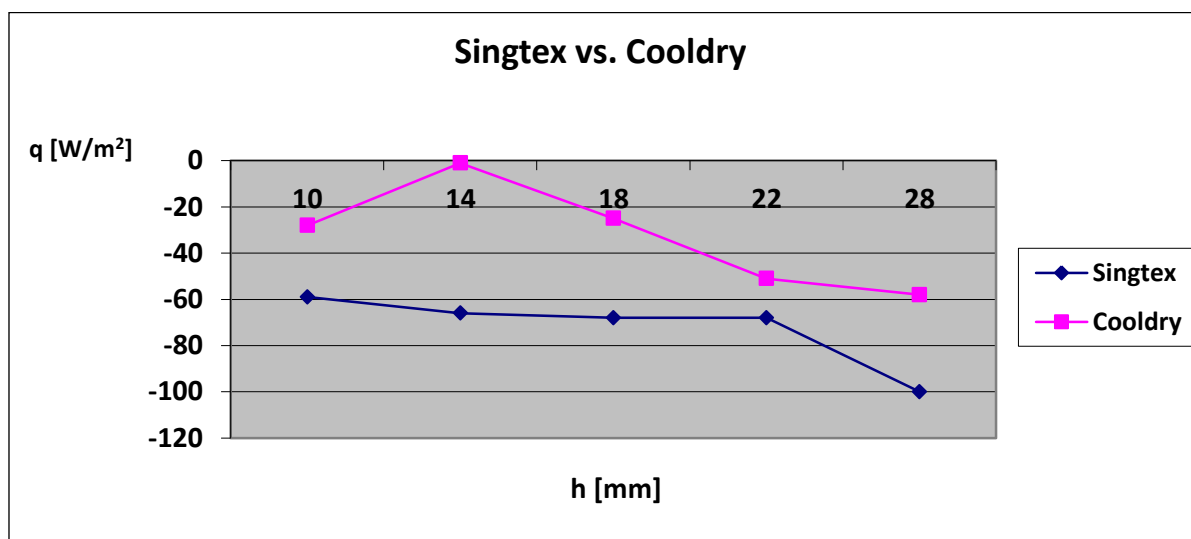
Výsledky z tohoto měření jasně ukazují, že pokud má být dosaženo chladícího efektu pomocí volné konvekce vznikající v oděvní mezeře, je nutno realizovat odpar vody ze struktury či z povrchu pokožky.

Z grafu, který ukazuje měření za sucha, jsou patrné jen malé rozdíly mezi textilními vzorky. Při měření se simulací pocení dosáhl černý materiál značky Sigtex nejlepších

hodnot. S rostoucí šířkou mezery je evidentní, že vyšší stupeň chladicího tepelného toku, dosahují materiály černé barvy.



Graf č. 8 Porovnání měření za sucha a se simulací pocení u materiálu značky Singtex



Graf č. 9 Porovnání materiálů Singtex a Cooldry při měření se simulací pocení

2.5.7 Teplotní rozdíly povrchu u měřených vzorků

Následující tabulka vypovídá o rozdílu teploty povrchu textilních vzorků použitých pro vrchní vrstvu.

Klimatické podmínky laboratoře: 23°C a 21% rel. vlhkosti vzduchu

Tabulka č. 5 Měření povrchové teploty

MĚŘENÍ TEPLITY POVRCHU MATERIÁLU			
	termočlánek	pyrometr ($\varepsilon=0,65$)	pyrometr ($\varepsilon=0,9$)
plátno bílé	40°C	49°C	42°C
plátno černé	45°C	51°C	57°C
Singtex	44°C	45°C	48°C
Cooldry	39°C	43°C	38°C

Teplotní rozdíly mezi teplotou okolí a povrchem vzorku jsou neuvěřitelné, avšak teplota v mezeře je stále konstantní a u všech vzorků stejná, tj. $t_m=26^\circ\text{C}$ (teplota v mezeře byla měřena při šířce 28mm).

ZÁVĚR

Bakalářská práce nebyla zaměřena pouze na zkoumání stylu odívání lidí žijících v extrémních klimatických podmínkách horka a sucha. Tato práce je i experimentem zabývající se vlivem barvy při zkoumání termofyziologického komfortu oděvu za podmínek vysokého slunečního záření, které je typické pro pouštní oblasti.

Jedním z cílů bylo charakterizovat oděvní systém, do kterého se odívají výše zmiňované skupiny lidí. Jsou to převážně domorodé kmeny Severní Afriky, které žijí kočovným způsobem života na poušti. Kmeny Tuaregů, Beduínů a Berberů jsou si navzájem velmi podobné. Nejde jen o styl života či náboženství, ale i o stejný druh oděvu. Oděvní systém těchto kmenů má společnou charakteristiku. Zaručit komfort a ochranu pro uživatele. Dále už se kmen od kmene liší barevností a zdobením oděvu dané tradicí kmene.

Tyto oděvy se mohou zdát na pohled primitivními, pro civilizovanou společnost dokonce nemódními, ale pro tamní společnost představují dokonalý oděvní systém. Tzv. pouštní lidé jsou naprosto přizpůsobeni životu v těchto oblastech a tomu odpovídá i jejich oděv.

Obecně se jedná o volné oděvy s dlouhými rukávy, které mohou být dlouhé až na zem. V případě mužů a žen se tyto oděvy nepatrně liší. Oděvy vyrobené z bavlny jsou dostatečně volné a prodyšné, tak aby zajišťovaly tepelný komfort. Barevné kombinace oděvu mohou být rozdílné podle kmenu obyvatel, ale převážně se nosí tmavé barvy. Jedná-li se o obyvatele, kteří se usadili ve městech a žijí konvekčním způsobem života, je jejich styl i volba barvy různorodá. Tam může styl oblékání podléhat vlivům evropské módy.

Výsledkem této práce bylo objasnit, zda jsou opravdu černé splývavé oděvy komfortnější v daném klimatu (horká suchá oblast) než stejné oděvy bílé barvy. Těžko by bylo shánět odpověď u domorodých obyvatel tamních oblastí. K odpovědi bylo využito experimentálního měření prováděného v laboratoři na TU – Liberec, FT, Katedře hodnocení textilií. V experimentu bylo použito konvekčního simulátoru, který představoval trup lidského těla a halogenovou žárovku, která simulovala sluneční záření.

Výsledky měření dokazují, že ti, co se odívají do černých barev, jsou chytřejší. Využívají totiž svůj tmavý oděv k ochlazování organismu. Černý oděv, který absorbuje více slunečního záření, a to jak ve viditelné části slunečního spektra, tak i v oblasti vysoce energetického blízkého infračerveného záření, zvýší rychlost volného konvekčního proudění v oděvní mezeře, které je vyvoláno teplotním rozdílem mezi vzduchem v mezeře a vzduchem v okolí. Toto intenzivnější proudění zvýší intenzitu odpařování a konvekčního odvodu vlhkosti (potu) z povrchu spodního prádla či pokožky, a tím dochází k efektu ochlazování.

Experiment ukazuje, že k jistému efektu ochlazení docházelo i v případě použití bílých materiálů. Ochlazování však bylo podstatně nižší než v případě černých materiálů.

Tradičním materiálem pro tyto oděvy je bavlna, ale protože jedním z cílů bylo navrhnout zlepšení těchto oděvů, byly do měření zahrnuty i textilní vzorky s polyesterovým složením. Výsledky z měření č. 6 ukazují až neuvěřitelný rozdíl mezi černým syntetickým úpletem značky Singtex a ostatními textilními materiály.

Doporučením by bylo vyměnit přírodní bavlnu za materiál moderní společnosti, za polyester. Pro spodní vrstvu se pak doporučuje prádlo, které je v naprostém kontaktu s pokožkou, kde se nevytváří žádná jiná oděvní mezera. Další oděvní mezera by znamenala snížení chladícího efektu. Spodní prádlo by mělo být také ze syntetického materiálu. Pro dosažení nejvyššího stupně ochlazení by bylo nutné vynechat spodní prádlo.

Přehled použitých symbolů

h	tloušťka materiálu [mm]	σ	radiační konstanta
λ	měrná tepelná vodivost [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]	T_{ext}	teplota vnější textilie [K]
r	plošný odpor vedení tepla [$\text{W}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{m}^2$]	T_{sk}	teplota pokožky [K]
q	tepelný tok [W/m^2]	ϵ_{ext}	povrchová emisivita vnější textilie
a	měrná teplotní vodivost [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]	ϵ_{sk}	povrchová emisivita pokožky
b	tepelná jímavost [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{K}^{-1}$]	$q_{\text{rad,ext}}$	radiační tepelný tok do textilie [W/m^2]
Ret	výparný odpor [$\text{Pa} \cdot \text{m}^2/\text{W}^1$]	m^*	odpar vlhkosti [$\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$]
p	relativní propustnost pro vodní páry [%]	t_m	teplota vzduchu v mezeře [$^{\circ}\text{C}$]
Pr	prodyšnost [$\text{l}/\text{m}^2/\text{s}$]	v_m	rychlost proudění vzduchu v mezeře [m/s]
Q	tok vzduchu [m^3/s]	H	výška mezery [m]
A	plocha vrstvy [m^2]	C	experimentální konstanta
t	teplota [$^{\circ}\text{C}$]	g	zemské zrychlení $g = 9,81$ [m/s^2]
Δt	teplotní rozdíl [$^{\circ}\text{C}$]	T_m	teplota vzduchu v mezeře [K]
t_{sk}	teplota pokožky [$^{\circ}\text{C}$]	T_{air}	teplota vzduchu [K]
t_{air}	teplota vzduchu [$^{\circ}\text{C}$]	β_{konv}	součinitel přenosu hmoty konvekci [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$]
q_{konv}	přenos tepla konvekci [W/m^2]	v	rychlost proudění [m/s]
α_{konv}	součinitel přenosu tepla konvekci [$\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$]	p_{wvsat}	tlak odpařené vody z povrchu materiálu [Pa]
q_{kond}	přenos tepla kondukcí [W/m^2]	p_{wvair}	tlak vlhkosti vzduchu [Pa]
R_{mez}	tepelný odpor mezery [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]	q_{cool}	chladicí tepelný tok [W/m^2]
λ_{ekv}	ekvivalentní tepelná vodivost mezery [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]	L	výparné teplo vody [J/kg]
q_{rad}	přenos tepla zářením [W/m^2]		

Seznam použitých obrázků

Obr. č. 1 – Termoregulace lidského těla

Obr. č. 2 – Přístroj Alambeta

Obr. č. 3 – Přístroj Permetest

Obr. č. 4 – Spectrum of light from various sources

Obr. č. 5 – Taugerský muž oděný v *bubu*

Obr. č. 6 – Taugerové

Obr. č. 7 – Beduín

Obr. č. 8 – Beduínské ženy

Obr. č. 9 – Vliv slunečního záření na barvu oděvu

Obr. č. 10 – Konvekční simulátor

Obr. č. 11 – Almeno 2290-4S

Seznam použité literatury

- [1] HES, L.: *Úvod do komfortu textilií*, Technická univerzita v Liberci, 2005, ISBN: 80-7083-926-0
- [2] HES, L.: *Thermal properties of nonwovens*. In: Congress INDEX 87, Geneva 1987
- [3] HENZAL, K.: *Přenosové jevy v technice prostředí*, ČVUT v Praze, 2004, ISBN: 978-80-01-02924-4
- [4] HES, L., MACHOVÁ, K., OFFERMAN, P., HOFFMANN, G.: *Experimental study of heat and moisture transfer by free convection in garments*. II. International Istambulo Textile Congress, 2004, Turkey.
- [5] INCROPERA, P., DEWITT, D., P.: *Fundamentals of heat and mass transfer*. JohnWiley&Sons in United States of America, 2004, str. 981, ISBN: 0-471-38650-2
- [6] Anatomie lidské kůže. Hojení-ran.cz [online]. [cit. 2013-03-08]. Dostupné z: <http://www.hojeni-ran.cz/anatomie-lidske-kuze>
- [7] Podnebí Afriky. Zeměpis.com[online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.zemepis.com/klimaafriky.php>
- [8] Oblékání a móda. Tuaregové [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://tauregovo.cz/clanky/spolecnost/oblekani-a-moda.html>
- [9] Bedouin. Wikipedia [online]. [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Bedouin>
- [10] Stack effect. Wikipedia [online]. [2013-04-05] Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Stack_Effect
- [11] The physics that explain why you should wear black this summer. Io9 [online]. [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://io9.com/5903956/the-physics-that-explain-why-you-should-wear-black-this-summer>

[12] Why Arabs wear black robes in the desert. OSDIR [online]. [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://osdir.com/ml/culture.backpacking.light/2002-09/msg00410.html>

[13] Solar chimneys for residential ventilation. Energy institute [online]. [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/laboratore/e-komin.php>

[14] Halogenová žárovka. Wikipedie [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Halogenová_žárovka

[15] Almeno 2290-4S. Výzkumné centrum TEXTIL II 2005-2007 [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: http://www.vct.tul.cz/prac_fyz_text3.php

[16] Termočlánek. Wikipedie [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Termočlánek>

[17] Pyrometr. Wikipedie [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Pyrometr>

Seznam příloh

Příloha č. 1 – Obrázky konvekčního simulátoru a halogenového zářiče

Příloha č. 1

